

## Progetto per la realizzazione opere della viabilità di collegamento tra via Bellosguardo e via Roma - lotto I

progettisti

**arch. Massimo Ceragioli**



ufficio di progettazione

via Virgilio 15 55049 Viareggio (Lu) Italia  
tel/fax +39 0584 961196 cell 335 6919334  
pec ceragioli.massimo@pec.architettilucca.it

**ing. Rodolfo Lelli**



**Studio Lelli Vanni Da Prato Ingegneri Associati**  
Via di Montramito, 116/C - Viareggio 55049 (LU)  
tel 0584/50337 fax 0584/407728 cell 335.8147729  
mail studio@lellivannidaprato.it pec rodolfo.elli@ingpec.eu

RUP

**ing. Riccardo Palmerini**

via Tabarrani 82 55041 Camaiore (Lu) Italia  
cell 348 2480820  
mail r.palmerini@tin.it  
pec riccardo.palmerini@ingpec.eu

23/11/2018

**relazione idrologico-idraulica**  
**ing. Andrea Casadidio**

**h**

## COMUNE DI CAMAIORE

*Provincia di Lucca*

*Progetto*

**VERIFICA IDRAULICA DI UN TRATTO DEL FOSSO CHE COSTEGGIA VIA ROMA  
NEL COMUNE DI CAMAIORE AL FINE DI TOMBARNE UNA PORZIONE PER  
CONSENTIRE LA REALIZZAZIONE DI UNA MINI-ROTATORIA.**

\* \* \*

### RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

\* \* \*

*Proprietà.:*

VIA ROMA S.r.l.  
Via Salvador Allende 5  
55041 Camaiore (LU)

\* \* \*

Capannori, Dicembre 2017

### STUDIO ASSOCIATO TECHNO INGEGNERIA INGEGNERI ASSOCIATI

Via della Madonnina 33/B, 55012 Loc. Lunata, Capannori (LU)

Tel. (+39) 0583/1890231 & Fax (+39) 0583/1714989

[info@technoingegneria.it](mailto:info@technoingegneria.it)

[www.technoingegneria.it](http://www.technoingegneria.it)

Ing. Andrea Casadidio

Ing. Raffaello Bertocchini

Ing. Riccardo Toloni

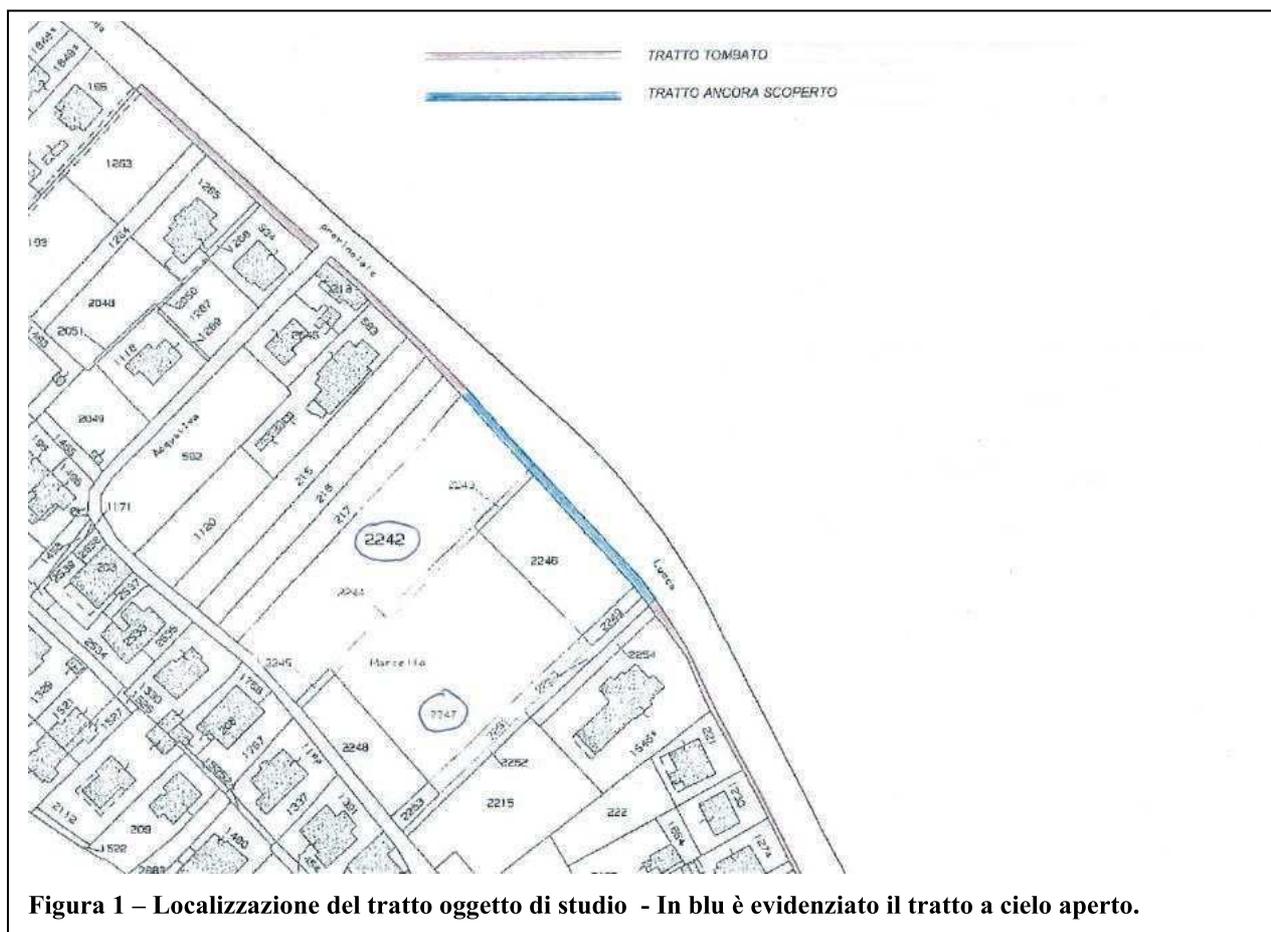
REDATTO DA: Dott. Ing. Andrea Casadidio

INDICE

1	Premessa .....	3
3	MODELLO IDROLOGICO .....	5
3.1	Il Bacino Idrografico .....	5
3.2	Costruzione del modello idrologico afflussi-deflussi .....	6
3.3	Il modello geometrico di bacino .....	6
3.3.1	Il calcolo delle perdite di bacino .....	7
3.3.2	Metodo di trasformazione afflussi-deflussi .....	12
3.3.3	Deflussi di base .....	13
3.3.4	La propagazione dell'onda di piena .....	14
3.4	Il modello meteorologico .....	15
3.5	L'intervallo di controllo .....	16
3.6	I dati pluviometrici: elaborazione statistica .....	16
4	Risultati della simulazione idrologica .....	18
5	MODELLO IDRAULICO .....	20
5.1	Premessa .....	20
5.2	Dati per la modellazione idraulica .....	20
5.3	Risultati e considerazioni in merito ai risultati della simulazione idraulica .....	21
5.4	Allegato 01 – Documentazione fotografica del tratto oggetto di studio .....	23
5.5	Allegato 02 – Bacino idrografico considerato per lo studio idrologico .....	25
5.6	Allegato 03 – Stato attuale. Estratti della modellazione idraulica con HEC RAS .....	26
5.7	Allegato 04 – Stato di progetto. Estratti della modellazione idraulica con HEC RAS .....	27

## 1 Premessa

Per conto della società VIA ROMA S.R.L. con sede a Camaiore (LU) lo Studio TECHNO INGEGNERIA – Ingegneri Associati, nella persona dello scrivente Ing. Andrea Casadidio, ha condotto la verifica idraulica di un tratto del fosso che fiancheggia Via Roma nel Comune di Camaiore. In particolare si tratta del tratto a cielo aperto (lungo circa 78 m) antistante le particelle catastali n. 2242 e 2246 come meglio rappresentato nella figura seguente:



Rispetto al tratto di studio precedentemente definito si precisa quanto segue:

- A monte è presente un lungo tratto tombato con una tubazione in calcestruzzo del diametro di 110 cm;
- A valle è presente ancora un tratto tombato con uno scatolare in calcestruzzo con dimensioni di 160 x 100 cm (B x H) apparentemente di recente realizzazione

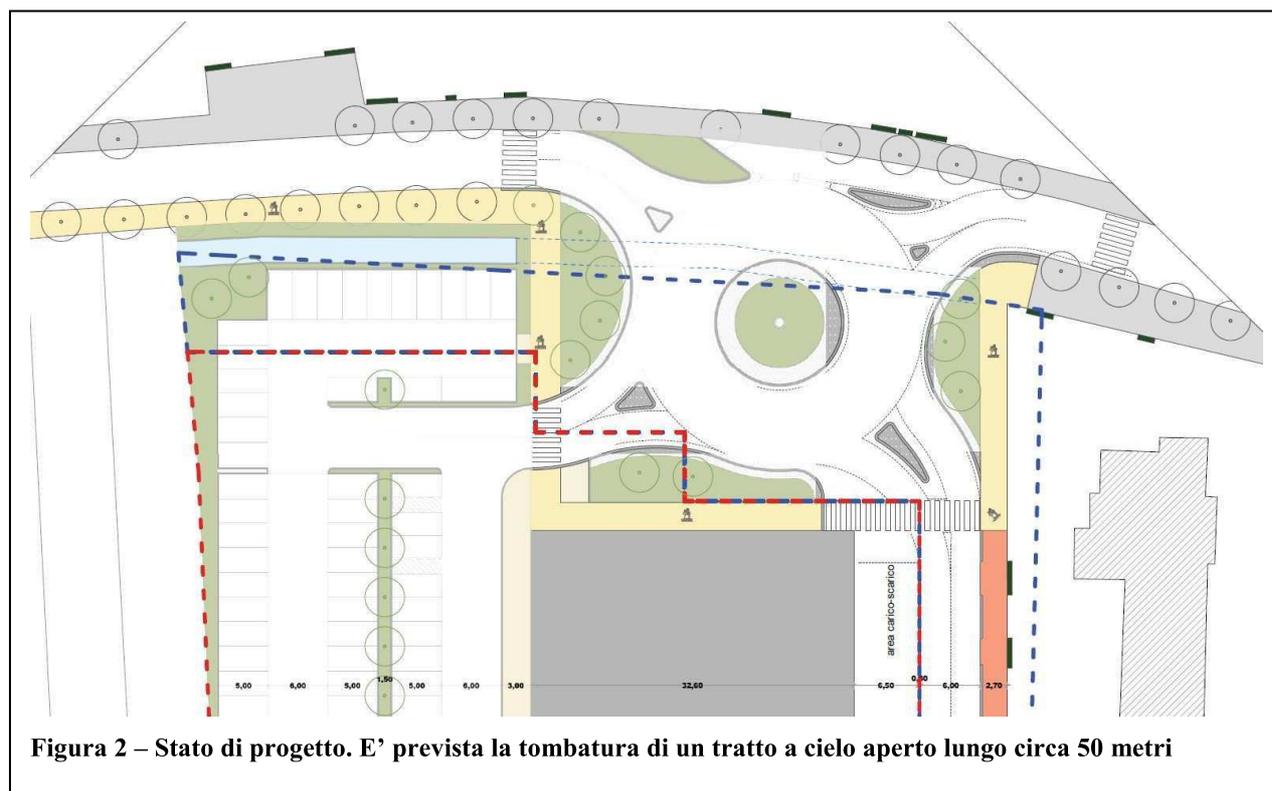
Nell'allegato 01 è riportata la documentazione fotografica del tratto studiato.

## 2 Finalità e metodologia del presente studio

Il presente studio ha la finalità di verificare idraulicamente il tratto di fosso a cielo aperto rispetto al massimo valore della portata con tempo di ritorno duecentennale al fine di valutare la possibilità di tombamento dello stesso.

Lo studio è stato strutturato secondo le seguenti due fasi:

- Studio idrologico del bacino idrografico di competenza. Ciò consente la determinazione del valore della massima portata duecentennale [ $Q_{max200}$ ] rispetto alla quale saranno fatte tutte le verifiche;
- Studio idraulico a moto permanente del tratto di interesse. Consiste nella verifica idraulica dell'adeguatezza o meno del fosso rispetto al valore della  $Q_{max200}$ . Tale studio è stato condotto modellando il tratto di fosso secondo i due seguenti scenari:
  - Stato attuale: sezione idraulica completamente a cielo aperto;
  - Stato di progetto: sezione idraulica parzialmente tombata.



Come si può osservare dallo stralcio di progetto (cfr. fig. 02) la modifica idraulica consiste nella parziale tombatura (circa 50 metri) del tratto di fosso a cielo aperto (lunghezza totale 78 metri) al fine di permettere la realizzazione di una mini-rotatoria su Via Roma con accesso anche al lotto oggetto di edificazione.

### 3 MODELLO IDROLOGICO

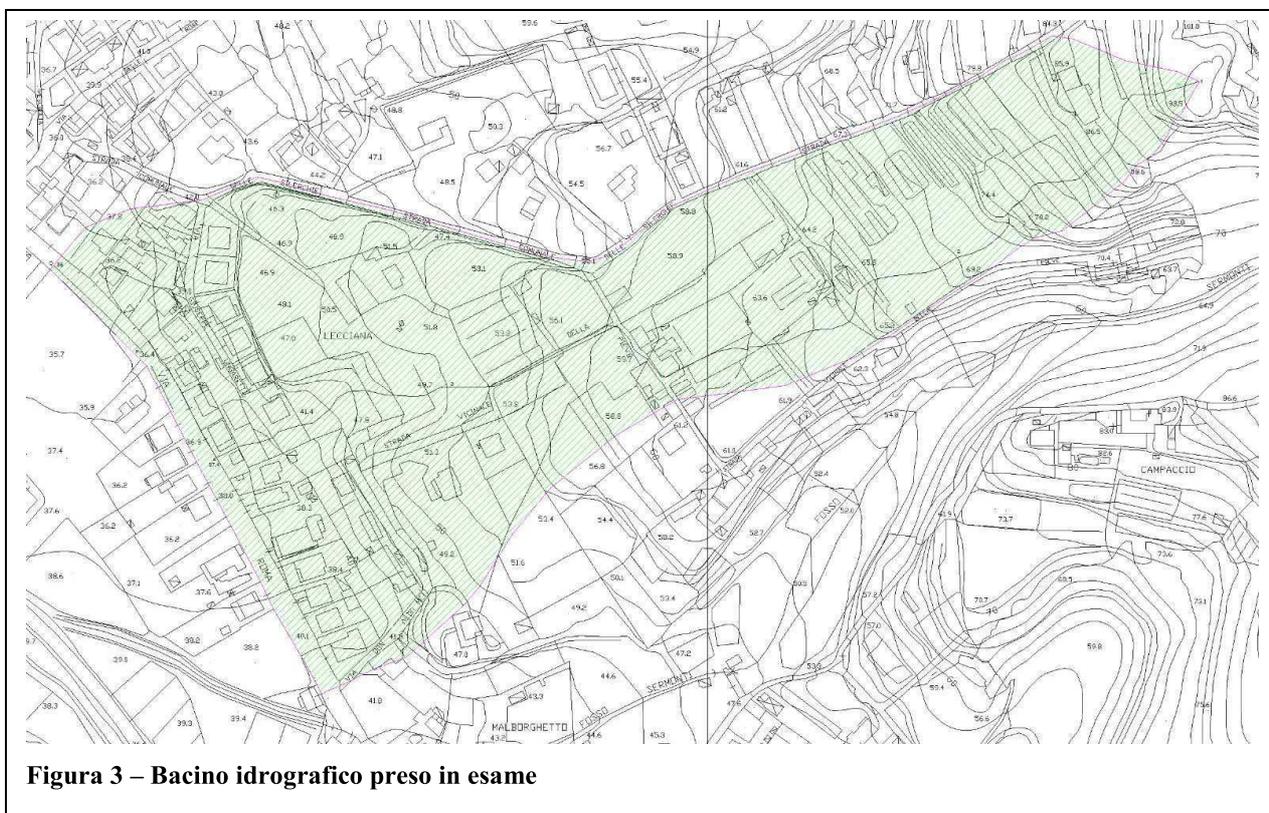
L'analisi idrologica viene effettuata con lo scopo di determinare, nei punti di interesse dell'asta fluviale, il valore del picco di portata corrispondente all'evento pluviometrico critico con tempo di ritorno [Tr] pari a 200 anni. L'esecuzione di tale analisi è stata fatta mediante la costruzione di un modello idrologico utilizzando il codice di calcolo HEC HMS sviluppato dal Corpo degli Ingegneri dell'Esercito degli U.S.A..

Tale software è stato realizzato per simulare i processi relativi alla trasformazione afflussi-deflussi di sistemi idrografici con struttura ad albero ed è applicabile in un vasto campo di problemi idrologici.

Nei capitoli successivi saranno specificate meglio le fasi di input per l'implementazione del modello idrologico.

#### 3.1 Il Bacino Idrografico

Il bacino idrografico considerato è quello avente la sezione di chiusura nel punto "O" (fig.03 - cfr. Allegato 03) e si estende su una superficie complessiva di circa 0,11311 Km<sup>2</sup> a monte di Via Roma. Tale bacino presenta delle forti pendenze in quanto si passa in poche centinaia di metri dalla sua quota massima di circa 100 m.l.m. alla quota della sezione di chiusura considerata pari a 36 m.l.m..



Il bacino risulta prevalentemente coltivato su terrazzamenti nella sua parte nord-est, mentre sul fronte di Via Roma risulta caratterizzato da una zona di tipo residenziale con abitazioni e giardini.

### 3.2 Costruzione del modello idrologico afflussi-deflussi

Al fine di determinare gli afflussi relativi al sistema considerato, si è provveduto alla realizzazione di uno studio idrologico mediante metodo indiretto, utilizzando il codice di calcolo HEC HMS sviluppato dal Corpo degli Ingegneri dell'Esercito degli U.S.A.; tale software è stato progettato per simulare i processi relativi alla trasformazione afflussi-deflussi di sistemi idrografici con struttura ad albero ed è applicabile in un vasto campo di problemi idrologici.

L'implementazione di tale modello risulta articolata secondo le seguenti fasi:

- Analisi del modello geometrico di bacino;
- Analisi del metodo di propagazione dell'onda di piena;
- Analisi del modello meteorologico;
- Definizione dell'intervallo di controllo della simulazione.

Di seguito verrà analizzata nel dettaglio ciascuna delle fasi sopraindicate.

<b>Superficie del sottobacino (valore stimato)</b>	<b>0,1131</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>
<b>Quota massima del sottobacino (valore stimato)</b>	<b>100</b>	<b>m.l.m.</b>
<b>Quota della sezione terminale di chiusura (valore stimato)</b>	<b>36</b>	<b>m.l.m.</b>
<b>Lunghezza del percorso idraulico più lungo (valore stimato)</b>	<b>923</b>	<b>m</b>
<b>Pendenza media dell'asta principale (valore stimato)</b>	<b>3,7</b>	<b>%</b>

**Tabella 1 - Principali caratteristiche morfometriche del bacino idrografico**

### 3.3 Il modello geometrico di bacino

Il modello geometrico di bacino serve a definire tutte le principali caratteristiche morfometriche dei bacini considerati, all'interno del modello afflussi-deflussi realizzato con HEC-HMS. Le informazioni richieste dal modello sono sia di carattere generale (exp. superficie del bacino) che legate ai vari metodi disponibili in HMS (metodo per il calcolo delle perdite idrologiche, per la propagazione dei deflussi o per la descrizione dei deflussi di base).

In particolare, per ogni bacino introdotto nel modello, saranno specificate le seguenti caratteristiche utili per la determinazione della precipitazione efficace:

- Metodo per il calcolo delle perdite di bacino;
- Metodo di trasformazione afflussi-deflussi;
- Metodo per il calcolo dei deflussi di base.

Nei paragrafi successivi viene data una descrizione più dettagliata dei vari metodi utilizzati per la costruzione del modello afflussi-deflussi.

### 3.3.1 Il calcolo delle perdite di bacino

Con riferimento al singolo bacino si precisa che le perdite iniziali sono state calcolate con il metodo SCS, calcolando la capacità potenziale di infiltrazione del terreno.

Per il calcolo di questo parametro, si fa riferimento al valore caratteristico denominato “CN” (Curve Number) che caratterizza un metodo di calcolo sviluppato dal S.C.S (Soil Conservation Service) negli Stati Uniti d’America

Essenzialmente il valore di questo parametro viene calcolato sulla base delle seguenti condizioni:

Condizioni di umidità antecedenti l’evento pluviometrico (AMC, Antecedent Moisture Condition);

- Tipo di suolo che caratterizza il bacino;
- Tipo di permeabilità del suolo che caratterizza il bacino.

La tabella di seguito riportata distingue in tre classi le condizioni di umidità del terreno all’istante in cui ha inizio la pioggia, in base all’altezza complessiva di precipitazione [mm] caduta nei cinque giorni precedenti la pioggia stessa; i valori del parametro CN della tab.3 si riferiscono ad una condizione di umidità del suolo della II classe (condizione standard).

Indicando con:

$P_{net}$  = volume specifico di pioggia netta [mm];

$P$  = volume specifico complessivamente affluito [mm];

$S'$  = volume specifico infiltrato [mm];

$S$  = massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione [mm];

$I_a$  = perdita iniziale [mm];

l’equazione di bilancio (eq. di continuità) può essere scritta nella forma:

$$P_{net} = P - S' \quad (1)$$

inoltre tale metodo ipotizza che sussista la seguente relazione di proporzionalità:

$$\frac{S'}{S} = \frac{P_{net}}{P - I_a} \quad (2)$$

Combinando la (1) con la (2) si trova che:

$$P_{net} = 0 \quad \text{per } P < I_a$$
$$P_{net} = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad \text{per } P \geq I_a$$

Per la determinazione della perdita iniziale  $[I_a]$  e del massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione  $[S]$  si può utilizzare la seguente relazione ottenuta da prove sperimentali di laboratorio:

$$I_a = 0.2 \cdot S \quad \text{con} \quad S = 254 \cdot \left( \frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Come risulta evidente dalla precedente espressione sulla base del valore attribuito al CN è possibile calcolare il valore del volume specifico d'acqua che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione.

#### Calcolo del valore di CN

Il calcolo del parametro CN si basa sui seguenti dati disponibili:

- Tipo di classe di permeabilità che caratterizza il singolo bacino idrografico;
- Tipo di suolo del bacino idrografico;
- Estensione del bacino idrografico considerato.

Tipo di suolo	Descrizione
<b>A</b>	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
<b>B</b>	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
<b>C</b>	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
<b>D</b>	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

**Tabella 2 - Classi di permeabilità del suolo**

CLASSE AMC	STAGIONE DI RIPOSO	STAGIONE DI CRESCITA
I	<12,7	<35,5
II	12,7 - 28,0	35,5 - 53,3
III	>28,0	>53,3

**Tabella 3 - Condizioni di umidità iniziali individuata in base all'altezza totale di pioggia (mm) caduta nei 5 giorni precedenti.**

E' bene precisare che i valori di CN riportati nella tabella 3, si riferiscono ad una condizione di umidità di tipo II (AMC II), per cui se si hanno delle condizioni iniziali differenti è necessario ricalcolare i valori del CN (I o III) sulla base di quelli relativi alla condizione AMC II; a tal fine si riportano le seguenti relazioni:

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)}, \quad CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$

	A	B	C	D
<b>Terreno coltivato</b>				
Senza trattamenti di conservazione	72	81	88	91
Con trattamenti di conservazione	62	71	78	81
<b>Terreno da pascolo</b>				
Cattive condizioni	68	79	86	89
Buone condizioni	39	61	74	80
<b>Praterie</b>				
Buone condizioni	30	58	71	78
<b>Terreni boscosi o forestati</b>				
Terreno sottile sottobosco povero senza foglie	45	66	77	83
Sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
<b>Spazi aperti, prati rasati, parchi</b>				
Buone condizioni con almeno il 75% dell'area con copertura erbosa	39	61	74	80
Condizioni normali con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
<b>Aree commerciali</b> (impermeabilità 85%)	89	92	94	95
<b>Distretti industriali</b> (impermeabilità 72%)	81	88	91	93
<b>Aree residenziali</b>				
impermeabilità media 65%	77	85	90	92
impermeabilità media 38%	61	75	83	87
impermeabilità media 30%	57	72	81	86
impermeabilità media 25%	54	70	80	85
impermeabilità media 20%	51	68	79	84
<b>Parcheggi impermeabilizzati, tetti</b>				
<b>Strade</b>				
Pavimentate con cordoli e fognature	98	98	98	98
Inghiaiate o selciate con buche	76	85	89	91
In terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

**Tabella 4 - Parametri CN relativi alla classe II di umidità (AMC II) per le quattro classi litologiche e per i vari tipi di uso del suolo**

**Il valore del parametro CN preso per il bacino in esame è di 75 conformemente al tipo di uso del suolo rilevato in sito.**

Per quanto invece riguarda la determinazione del tempo di corrivazione [T<sub>c</sub>] del bacino considerato, si è fatto un raffronto tra le formule tecniche più utilizzate e ricorrenti. In particolare per il bacino in esame si è guardato con attenzione il valore proposto da Kirpich che ben si adatta per bacini montani con superficie compresa tra 0,5 e 45 ettari. Il confronto è stato fatto con le formule classiche di Ventura e Pasini oltre che con il metodo cinematico che si basa sulla velocità di scorrimento dell'acqua sui vari tipi di superficie e per le varie pendenze analizzate.

*Ventura:* 
$$T_c = 0.127 \cdot \sqrt{\frac{S}{i}}$$

*Pasini:* 
$$T_c = \frac{0.108 \cdot (S \cdot L)^{\frac{1}{3}}}{i}$$

con:

T<sub>c</sub> = tempo di corrivazione [ore];

S = superficie del bacino [Kmq];

L = lunghezza dell'asta principale [Km];

i = pendenza [adimensionale].

**Il tempo di corrivazione del bacino complessivo con sezione di chiusura posta nel punto "O" (cfr. Allegato 03) è stato stimato in 12 minuti. Si tratta di un tempo relativamente breve che si spiega per le forti pendenze delle superfici scolanti e per la limitatezza dell'estensione del bacino idrografico.**

### 3.3.2 Metodo di trasformazione afflussi-deflussi

L'aliquota di precipitazione che non è coinvolta nelle varie perdite idrologiche e quella che cade sulle aree impermeabili costituiscono la precipitazione efficace ovvero la precipitazione che da origine allo scorrimento superficiale e che muovendosi attraverso il bacino idrografico verso la sezione di chiusura, dà origine all'idrogramma dei deflussi nella sezione considerata.

Per il calcolo del deflusso superficiale risultante dalla precipitazione efficace si è utilizzato il metodo dell'idrogramma unitario del SCS (fig.4).

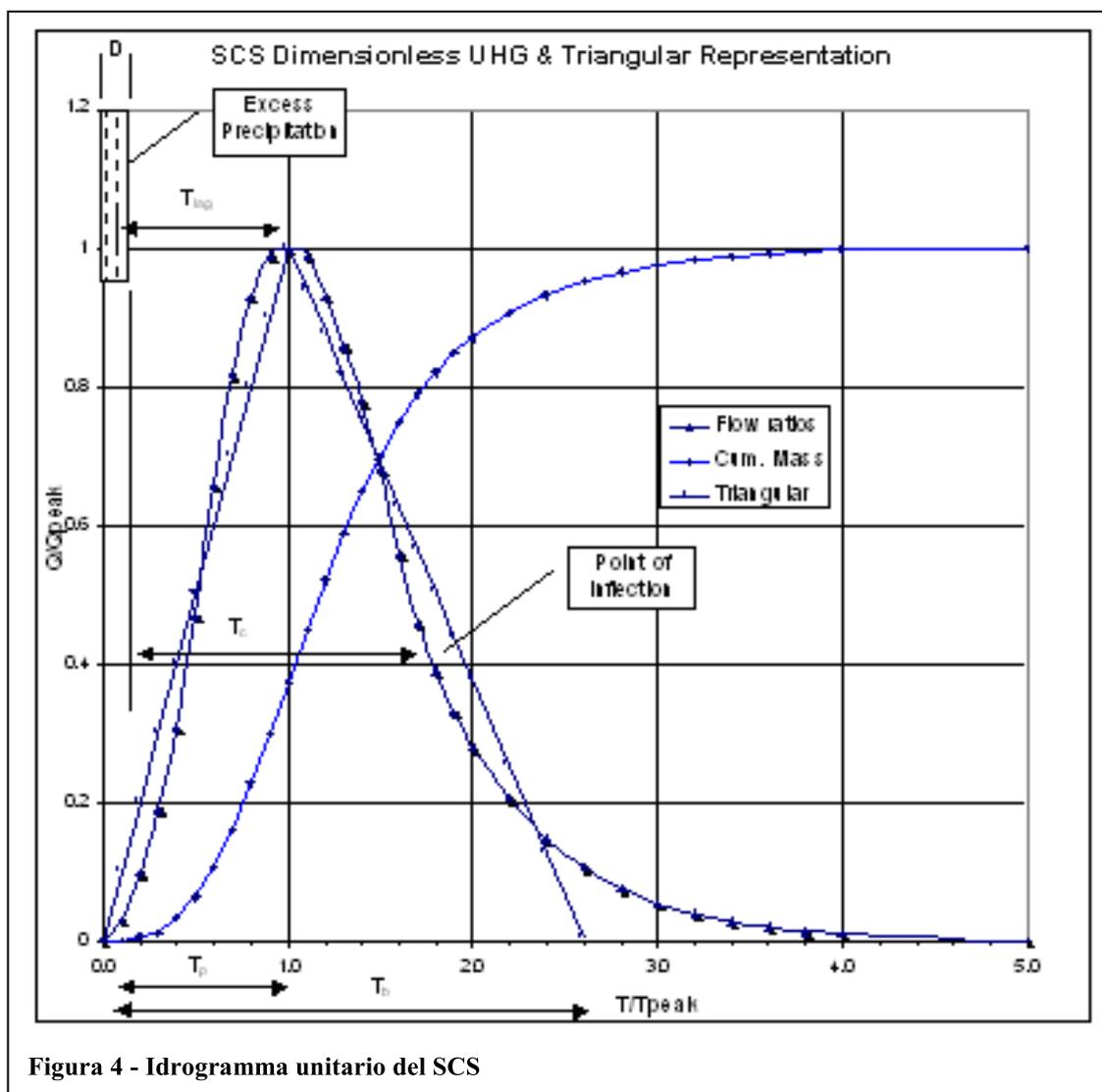


Figura 4 - Idrogramma unitario del SCS

L'idrogramma SCS è un idrogramma adimensionale definito dal Soil Conservation Service in base all'analisi di idrogrammi di piena in uscita dalla sezione di chiusura di numerosi bacini idrografici strumentati, di dimensioni grandi e piccole. Esso ha un vasto campo di applicazioni pratiche nel campo delle trasformazioni afflussi deflussi per la sua semplicità d'uso e per la sua generalità.

L'I.U. del SCS è caratterizzato dall'aver il 37.5% del suo volume prima dell'istante di picco, inoltre i valori della portata di picco e dell'istante  $T_p$  sono stati ricavati adottando un modello semplificato di idrogramma triangolare di base  $2.67 T_p$ .

Per la definizione dell'idrogramma unitario adimensionale del SCS è necessario specificare il tempo di ritardo  $T_1$  del bacino idrografico, che può essere valutato a partire dal tempo di corrvazione  $T_c$  del bacino idrografico esaminato.

### **3.3.3 Deflussi di base**

Nel caso in esame si è assunto che i deflussi di base, ovvero i volumi d'acqua che si infiltrano nel sottosuolo e che si muovono verso i corpi idrici superficiali, siano assenti. Tale assunzione risulta giustificata sia dall'incertezza dovuta al modo di propagarsi delle acque sotterranee sia dal fatto che in ogni caso l'apporto idrico con cui tali acque contribuiscono al deflusso superficiale risulta assai minore di quello fornito dall'evento pluviometrico.

### 3.3.4 La propagazione dell'onda di piena

Il processo di propagazione delle piene considera l'effetto di laminazione che si verifica quando l'onda di piena in uscita da un bacino idrografico percorre un canale a pelo libero; tale effetto di laminazione è imputabile generalmente agli attriti e all'effetto dell'invaso che l'onda incontra durante la sua propagazione. Per simulare tale effetto si considera il metodo di Muskingum-Cunge, che si basa sull'equazione di continuità e sull'approssimazione parabolica delle equazioni complete di De Saint Venant.

I parametri richiesti da tale metodo sono:

- la lunghezza del tratto in esame;
- l'indice di scabrezza (coefficiente di Manning);
- la pendenza della linea dell'energia;
- la forma della sezione trasversale tipo;
- la larghezza di fondo della sezione trasversale tipo;
- la pendenza delle sponde laterali della sezione trasversale tipo.
- Da precisare che per il modello in esame è stato simulato con un unico bacino e pertanto non si considera alcun effetto di laminazione dell'onda di piena. Questa condizione va senz'altro a favore di sicurezza poiché produce un picco massimo dell'onda con un più alto valore.

### 3.4 Il modello meteorologico

Tale modello serve per la definizione delle caratteristiche d'evapotraspirazione relative ad ogni bacino considerato; nel caso in esame ogni bacino è stato simulato con caratteristiche omogenee ovvero tali da ritenere gli effetti dell'evapotraspirazione costanti su tutta la sua superficie. All'interno del modello meteorologico sono inoltre definite le caratteristiche relative all'evento di pioggia analizzato; nel caso in esame si sono utilizzati istogrammi di pioggia di tipo triangolare (intensità di pioggia crescente-decrescente) che generalmente tendono a massimizzare il valore del picco dell'onda di piena (**condizione a favore di sicurezza per il nostro caso**).

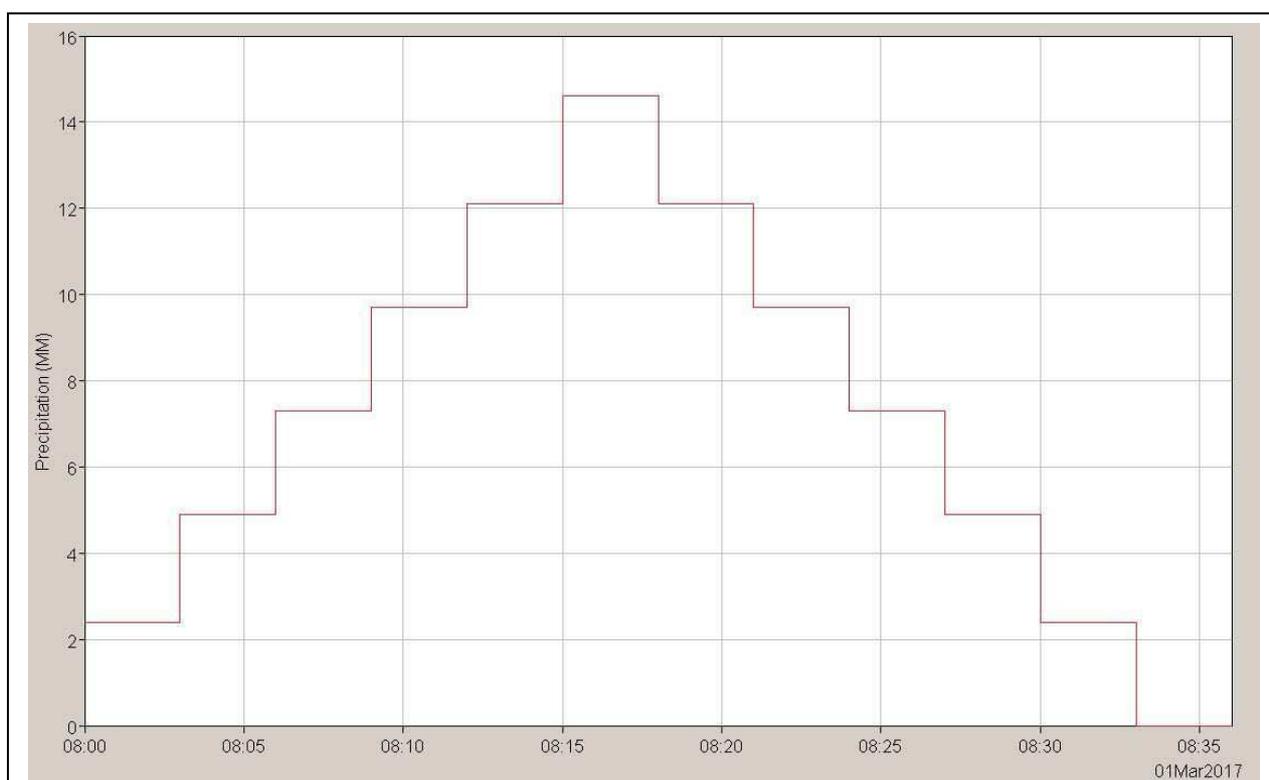


Figura 5 - Esempio di ietogramma di pioggia con intensità di tipo “triangolare”

La simulazione che è stata eseguita per i sistemi idrologici caratterizzati da tempi di pioggia [Tp] variabili tra 12 e 60 minuti e con tempo di ritorno [Tr] pari a 200 anni.

### 3.5 L'intervallo di controllo

Tale intervallo temporale definisce gli istanti di inizio e di fine della simulazione idrologica nonché l'intervallo di risoluzione della simulazione idrologica.

La definizione di tale intervallo permette l'analisi afflussi-deflussi di un preciso periodo appartenente all'arco di tempo analizzato. Trattandosi di un elemento esclusivamente numerico che influenza esclusivamente l'arco temporale della simulazione, non si danno altre prescrizioni sulla definizione di questo parametro.

### 3.6 I dati pluviometrici: elaborazione statistica

Per lo studio delle piogge si è fatto riferimento alle curve di possibilità pluviometrica elaborate dal SIR (Servizio Idrologico Regionale) elaborate attraverso uno studio fatto tra Regione Toscana e l'Università di Firenze. Tali curve sono aggiornate all'anno 2012.

L'equazione di riferimento per la rappresentazione delle curve di possibilità pluviometrica risulta essere la seguente :

$$h = a t^n T_r^m$$

avendo indicato con:

h = altezza di precipitazione [mm];

t = durata [ore];

$T_r$  = tempo di ritorno [anni];

n , m = coefficienti determinati dall'analisi statistica dei casi critici rilevati.

Nel caso specifico si è fatto riferimento alla stazione pluviometrica di Camaiore prossima a quella del bacino idrografico analizzato e quindi significativa. In particolare per la stazione utilizzata si elencano i seguenti valori dei parametri di riferimento:

a = 103,31

n = 0,32566

## Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica - Aggiornamento 2012

[Scarica documentazione](#)

### Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme - LSPP - Aggiornamento al 2012

Nell'ambito dell'accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012, al fine di procedere ad un'implementazione e un aggiornamento del quadro conoscitivo idrologico del territorio toscano, si è provveduto ad effettuare un aggiornamento dell'analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme fino all'anno 2012 compreso (Referente: Prof. Enrica Caporali Dipartimento di Ingegneria civile e Ambientale UNI FI).

Tempo di ritorno  anni

Durate pioggia  ore

Stazioni  Lat  Lon

Aree

**H = 103.31 [mm] altezza di pioggia (a = 103.31000, n = 0.32566)**

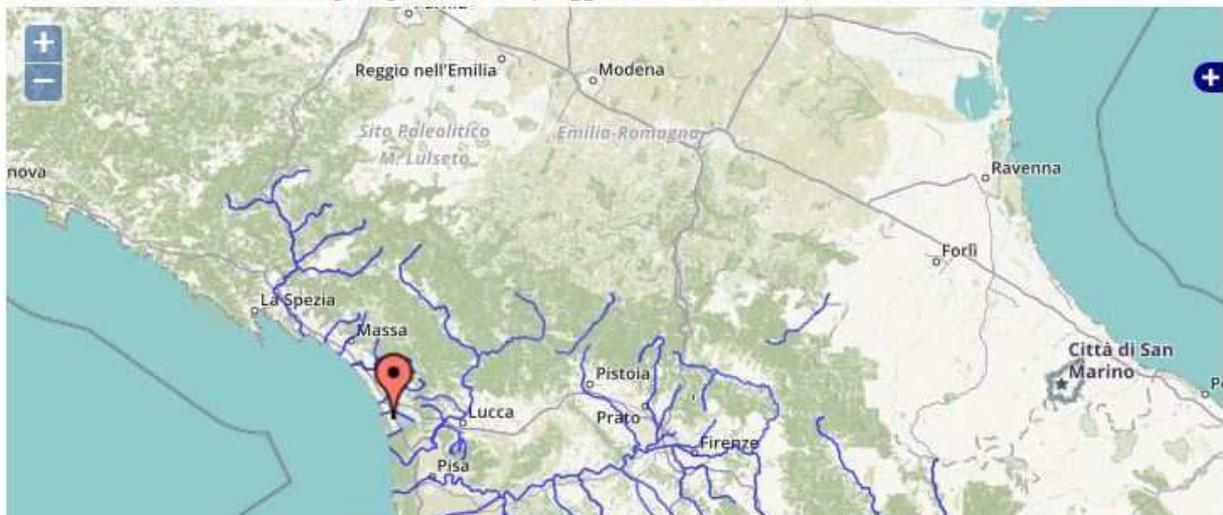


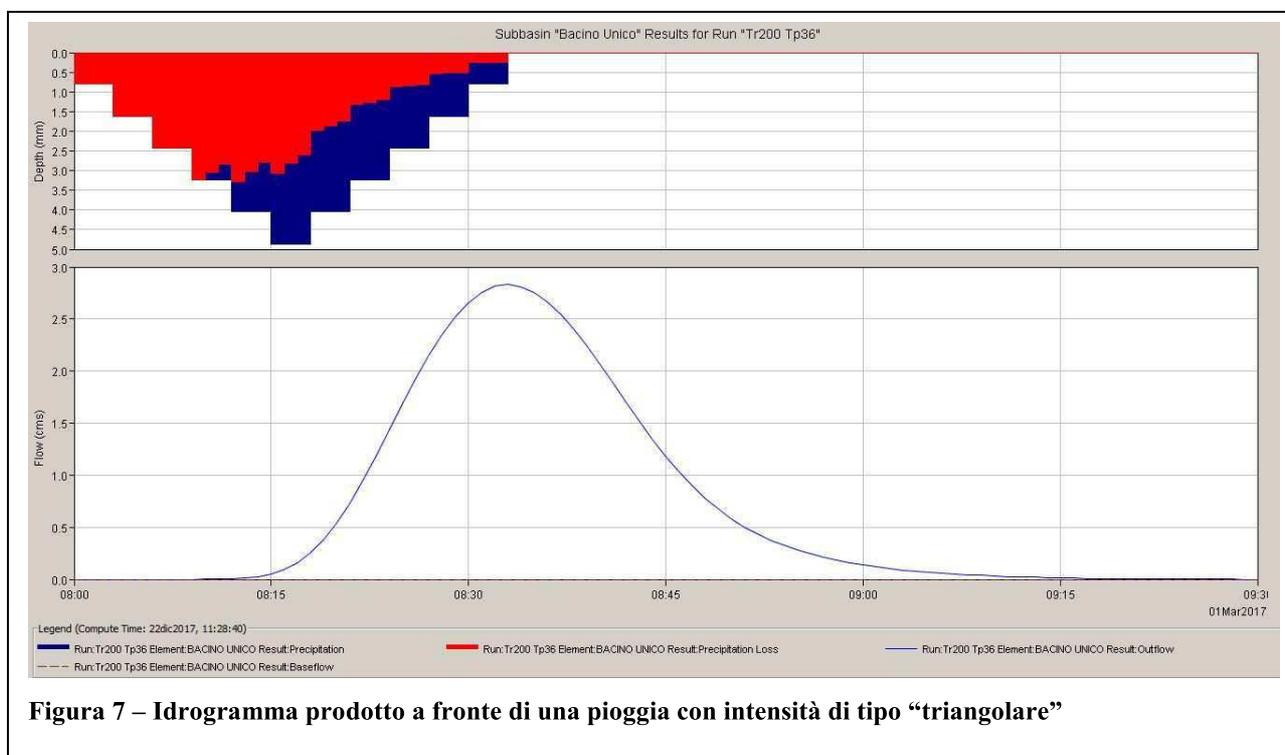
Figura 6 - Dati caratteristici della stazione pluviometrica di Camaiore

#### 4 Risultati della simulazione idrologica

Nella tabella 5 sono riassunti i valori della portata massima ottenuti per le diverse simulazioni effettuate. In particolare risulta evidenziato il tipo di ietogramma simulato, il tempo di ritorno utilizzato [ $Tr=200$ ]; il tempo di pioggia che caratterizza l'evento pluviometrico [ $Tp$ ] e la portata massima ottenuta in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino [ $Q_{max}$ ].

Tipo di ietogr.	Tr	Tp	Q 200
	anni	minuti	mc/sec.
triangolare	200	12	1,82
triangolare	200	24	2,61
<b>triangolare</b>	<b>200</b>	<b>36</b>	<b>2,83</b>
triangolare	200	48	2,82

**Tabella 5 – Risultati corrispondenti alle varie simulazioni effettuate con evidenziato il valore massimo di portata.**



**Figura 7 – Ietogramma prodotto a fronte di una pioggia con intensità di tipo “triangolare”**

Come si può osservare in tabella il massimo valore della portata con tempo di ritorno duecentennale si ottiene per un tempo di pioggia pari a 3 volte il tempo di corrivazione [Tc] ovvero pari a 36 minuti.

$$Q_{\max,200} = 2,83 \text{ mc/s;}$$

Tali valore è corrispondente ad uno ietogramma di pioggia di tipo triangolare che tendenzialmente, rispetto a quello con intensità di pioggia costante, massimizza il picco dell'onda di piena (condizione cautelativa).

## 5 MODELLO IDRAULICO

### 5.1 Premessa

L'analisi idraulica viene effettuata al fine valutare la capacità di deflusso della massima portata duecentennale (cfr. Allegato 03 - modello allo stato attuale) e di dimensionare lo scotolare di progetto per il tombamento parziale del fosso (cfr. Allegato 04 - modello allo stato attuale). Pertanto saranno realizzati due modelli idraulici relativi rispettivamente alle due condizioni analizzate.

### 5.2 Dati per la modellazione idraulica

L'esecuzione dell'analisi idraulica richiede la costruzione di un modello idraulico che nel caso specifico è stato realizzato utilizzando il codice di calcolo HEC-RAS 4.1.0, elaborato dal Corpo degli Ingegneri degli Stati Uniti d'America per modellare un flusso stabile, unidimensionale e gradualmente variato in canali fluviali naturali ed artificiali.

La modellazione è stata eseguita a moto permanente con i seguenti dati in ingresso:

- Sezioni idrauliche del tratto modellato: sono state rilevate dallo scrivente trattandosi di un piccolo tratto a sezione costante;
- Portata idraulica duecentennale: si è considerata la portata di 2,83 mc/s;
- Condizione al contorno (*Steady Flow Boundary Conditions*): come condizioni al contorno di monte e di valle si è utilizzata la pendenza media di fondo che è pari allo 0,5 % a valle e a 0,5% a monte;
- Coefficiente di Manning: si assume, così come ricavato da studi effettuati dal USGS<sup>1</sup> e presi a riferimento per il calcolo di questo coefficiente, pari a 0,033 per l'alveo attivo; pari a 0,012-0,015 per le parti cementate (tombamenti, muri di sponda e canalette);
- Si assume un regime della corrente di tipo misto.
- Condizioni cautelativa ai fini della modellazione: come precedentemente specificato si assume una portata d'ingresso pari alla massima portata duecentennale. In realtà lo stato dei luoghi mostra che si anno immissioni che limitano la portata circolante. A monte del tratto in esame ad esempio l'acqua si immette con una tubazione di diametro 110 mm ostruita per circa 1/3 della sua altezza. Altre due immissioni laterali al tratto studiato sono costituite da tubazioni del diametro di 400 mm. **Pertanto la reale portata circolante, nella situazione attuale, non sarà mai pari a quella massima simulata.**

---

<sup>1</sup> Surface-Water field techniques (Water Resources of the Western United States) – Verifield Roughness Characteristic of Natural Channels

### **5.3 Risultati e considerazioni in merito ai risultati della simulazione idraulica**

I risultati delle due simulazioni effettuate (stato attuale e stato di progetto) mostrano quanto segue:

- **STATO ATTUALE:** Allo stato attuale la sezione idraulica del tratto studiato risulta idonea al deflusso della massima portata duecentennale. Il deflusso risulta totalmente contenuto all'interno della sezione e anche lo scolare posto a valle del tratto studiato risulta sufficiente allo smaltimento della portata.
- **STATO DI PROGETTO:** Allo stato di progetto il tombamento è stato previsto con uno scolare avente larghezza interna utile di 160 cm e altezza interna utile di 100 cm (cfr. fig.6 allegata) montato per una lunghezza di circa 50 metri. L'elemento risulta sufficiente allo smaltimento della portata massima duecentennale senza mai andare in pressione.

 <span style="float: right;"> <a href="#">HOME</a> <a href="#">CHI SIAMO</a> <a href="#">NEWS</a> <a href="#">PRODOTTI</a> <a href="#">GALLERY</a> <a href="#">CONTATTI</a> <a href="#">RICHIEDI UN'OFFERTA</a> </span>									
guarnizioni									
cod.	• mm	Sviluppo mm	A mm	B mm	S1 mm	S2 mm	Lu mm	Lt mm	Peso Kg
<b>Manufatti marcati  in conformità alla normativa UNI EN 14844:2006+A1:2008 sistema 4</b>									
AA/AB	16	2450	700	400	120	120	2000	2065	1700
AA/AB	16	3125	1000	500	120	120	2000	2065	2100
AA/AB	16	3320	1000	600	120	120	2000	2065	2200
AA/AB	16	3680	1000	800	150	150	2000	2065	3200
AA/AB	22	4050	1200	800	150	150	2000	2120	3360
AA/AB	22	4450	1200	1000	150	150	2000	2120	3750
<b>Manufatti marcati  in conformità alla normativa UNI EN 14844:2006+A1:2008 sistema 2+ Cert. N° 1305-CPD-0878</b>									
AA/AB	22	4900	1600	1000	160	160	2000	2120	4770
AA/AB	22	5300	1800	1000	160	160	2000	2120	5250
AA/AB	22	5700	1800	1200	160	160	2000	2120	5670
AA/AB	22	6010	1600	1600	180	180	2000	2120	6470
AA/AB	22	6730	1800	1800	180	180	2000	2120	7060
AA/AB	22	6100	2100	1100	180	180	2000	2120	6450
AA/AB	22	6550	2000	1500	180	180	1500	1620	5060
AA/AB	22	7450	2000	2000	180	180	2000	2120	8010
AA/AB	22	7000	2500	1250	180	180	2000	2120	7550
AA/AB	22	7480	2500	1500	180	180	2000	2120	7850
AA/AB	22	7290	2200	1700	180	180	1000	1120	3910
AA/AB	22	8550	2400	2200	180	180	1750	1870	7365
AA/AB	22	8360	2500	2000	180	180	1750	1870	7680
AA/AB	22	8560	2500	2100	180	180	2000	2120	9090
AA/AB	22	7980	3000	1250	220	220	1100	1220	5780
AA/AB	22	8480	3000	1500	220	220	1100	1220	5950
AA/AB	22	9380	3000	2000	220	220	1100	1220	6720
AA/AB	22	10440	3000	2500	220	220	1100	1220	7240
AA/AB	22	10280	3500	2000	220	220	1100	1220	7340
AA/AB	22	10900	3600	2200	250	250	1100/2000	1220	8660/15000
AA/AB	22	11700	4000	2000	240	240	2000	1220	15200
AA/AB	22	11700	4000	2200	250	250	1100/1750	1220	9400/14800
AA/AB	22	13300	5000	2000	290	290	1400	1520	15000

Figura 8 – Tabella dimensionale degli scatolari con incastro a raccordo

#### 5.4 Allegato 01 – Documentazione fotografica del tratto oggetto di studio



Vista verso monte. Immissione nel tratto a cielo aperto con tubazione (diam.110 cm)



Vista verso valle. Tratto da tombare



Vista verso valle. Fine del tratto a cielo aperto e inizio del tratto già tombato.



Esempio di immissione laterale che confluisce nel tratto oggetto di studio attraversando Via Roma

**5.5 Allegato 02 – Bacino idrografico considerato per lo studio idrologico**



## 5.6 Allegato 03 – Stato attuale. Estratti della modellazione idraulica con HEC RAS

*Legenda dei profili longitudinali:*

*EG PF# 1 = linea dell'energia totale della corrente.*

*WS PF#1 = linea del profilo liquido della corrente.*

*Crit. PF#1 = linea dell'altezza critica della corrente.*

*Ground = profilo di fondo del corso d'acqua.*

*LOB = linea del profilo della sommità dell'argine o della sponda sinistra.*

*ROB = linea del profilo della sommità dell'argine o della sponda destra.*

*Legenda delle sezioni trasversali:*

*EG PF# 1 = linea dell'energia totale della corrente.*

*WS PF#1 = linea del profilo liquido della corrente.*

*Ground = profilo di fondo del corso d'acqua.*

*Bank Sta = sommità degli argini o delle sponde della sezione.*

*Legenda delle tabelle:*

*Reach = corso d'acqua in esame (Sana nel nostro caso).*

*River Sta = sezione trasversale.*

*Q Total = portata del corso d'acqua nella sezione.*

*Min ch elev = elevazione minima del fondo.*

*W. S. Elev = elevazione del pelo liquido della corrente.*

*Crit. W. S. = elevazione dell'altezza critica.*

*E. G. Elev. = elevazione della linea dell'energia totale.*

*E. G. Slope = pendenza della linea dell'energia totale.*

*Vel Chnl = velocità dell'acqua nel canale.*

*Flow area = sezione liquida della corrente.*

*Top Width = larghezza in bocca della sezione*

*Froude # Chl = numero di Froude nella sezione*

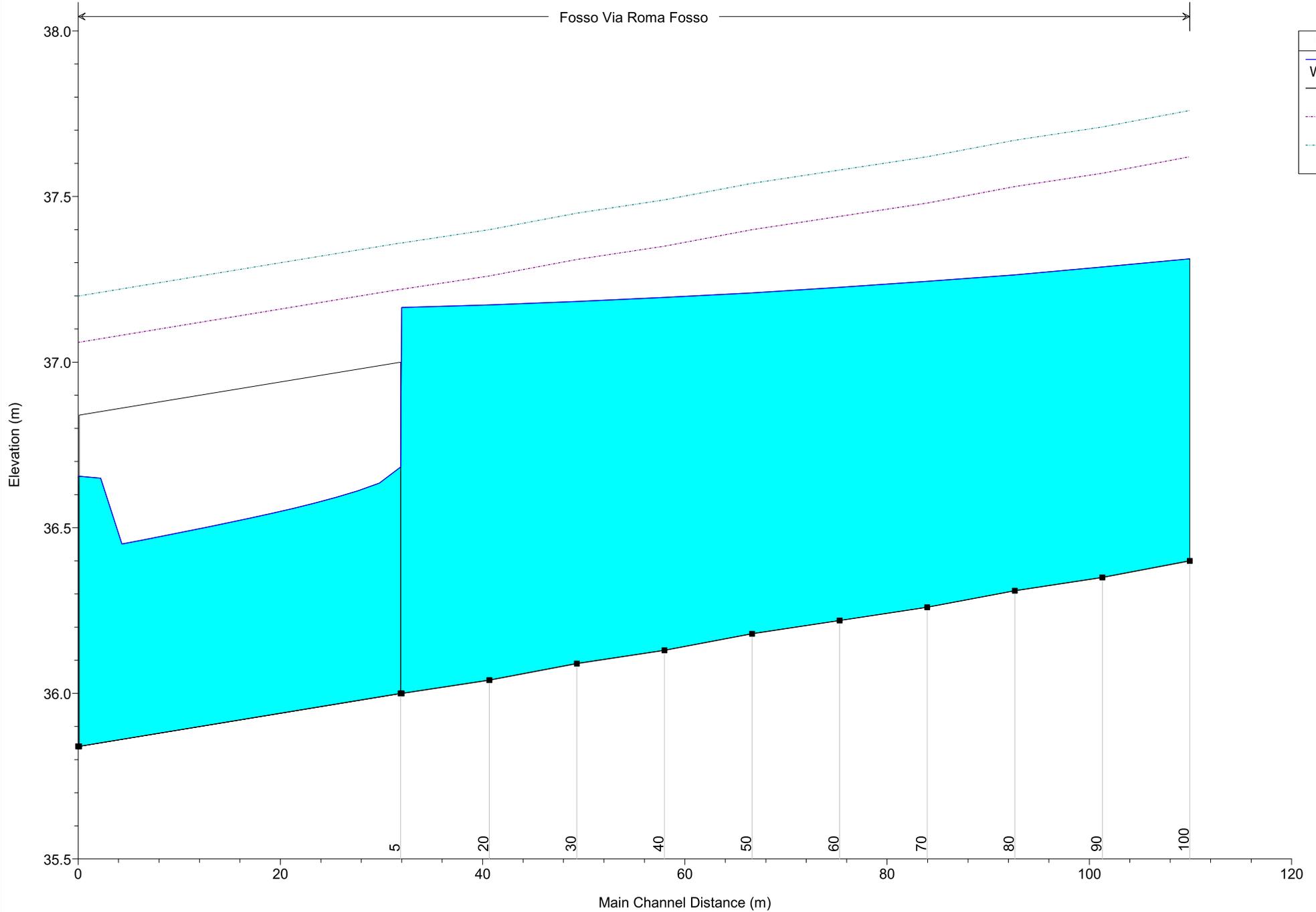
*L. Freeboard = franco di sicurezza in sponda sinistra*

*R. Freeboard = franco di sicurezza in sponda destra*

HEC-RAS Plan: Plan 02 River: Fosso Via Roma Reach: Fosso Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Fosso	100	PF 1	2.83	36.40	37.31	37.02	37.38	0.003487	1.16	2.45	4.15	0.48
Fosso	90	PF 1	2.83	36.35	37.29	36.97	37.35	0.003111	1.11	2.55	4.24	0.46
Fosso	80	PF 1	2.83	36.31	37.26	36.93	37.32	0.002894	1.08	2.62	4.30	0.44
Fosso	70	PF 1	2.83	36.26	37.24	36.88	37.30	0.002538	1.03	2.76	4.40	0.41
Fosso	60	PF 1	2.83	36.22	37.23	36.84	37.28	0.002317	0.99	2.85	4.47	0.40
Fosso	50	PF 1	2.83	36.18	37.21	36.80	37.26	0.002104	0.96	2.96	4.55	0.38
Fosso	40	PF 1	2.83	36.13	37.20	36.75	37.24	0.001814	0.91	3.13	4.68	0.35
Fosso	30	PF 1	2.83	36.09	37.18	36.70	37.22	0.001628	0.87	3.25	4.77	0.34
Fosso	20	PF 1	2.83	36.04	37.17	36.66	37.21	0.001395	0.82	3.45	4.91	0.31
Fosso	10	PF 1	2.83	36.00	37.16	36.58	37.19	0.001180	0.77	3.69	5.02	0.29
Fosso	5		Culvert									
Fosso	2	PF 1	2.83	35.84	36.66	36.42	36.74	0.005008	1.32	2.15	3.83	0.56

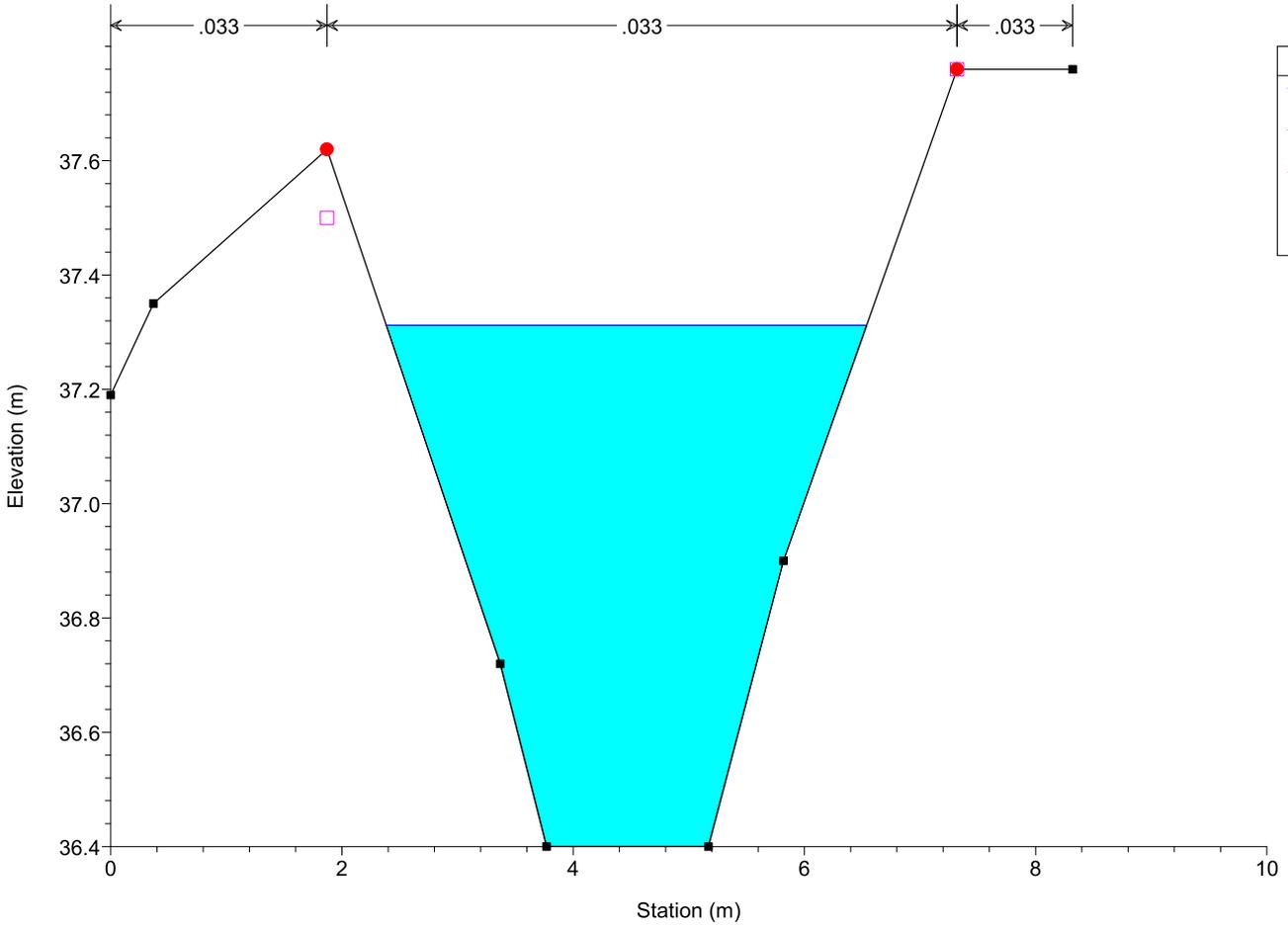
Fosso Via Roma Fosso



17ED\_PR79 Fosso Via Roma Plan: Plan 03 12/22/2017

Geom: 171221 Stato attuale

River = Fosso Via Roma Reach = Fosso RS = 100

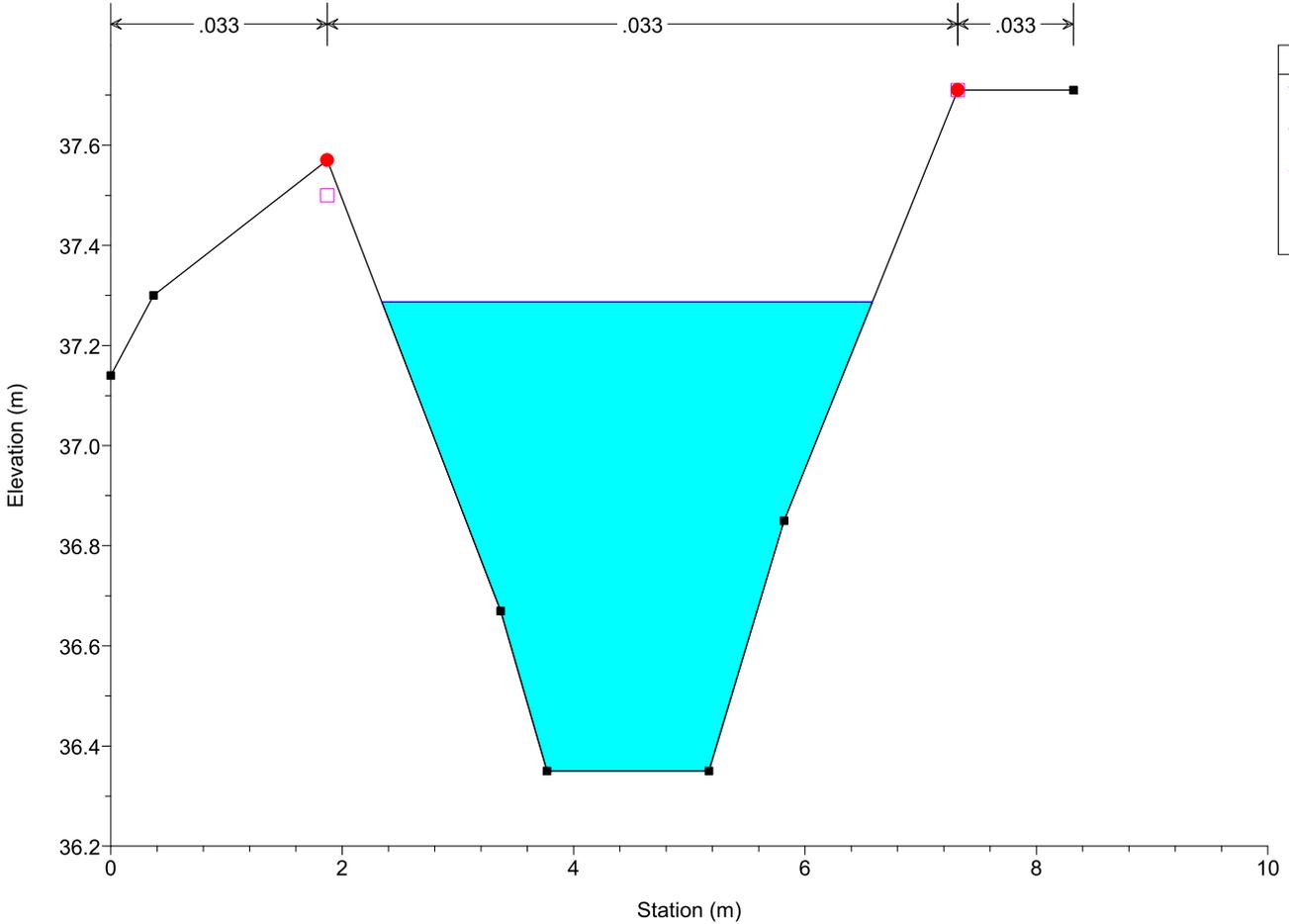


Legend	
—	WS PF 1
■	Ground
□	Levee
●	Bank Sta

17ED\_PR79 Fosso Via Roma Plan: Plan 03 12/22/2017

Geom: 171221 Stato attuale

River = Fosso Via Roma Reach = Fosso RS = 90

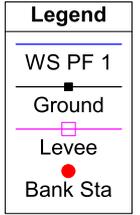
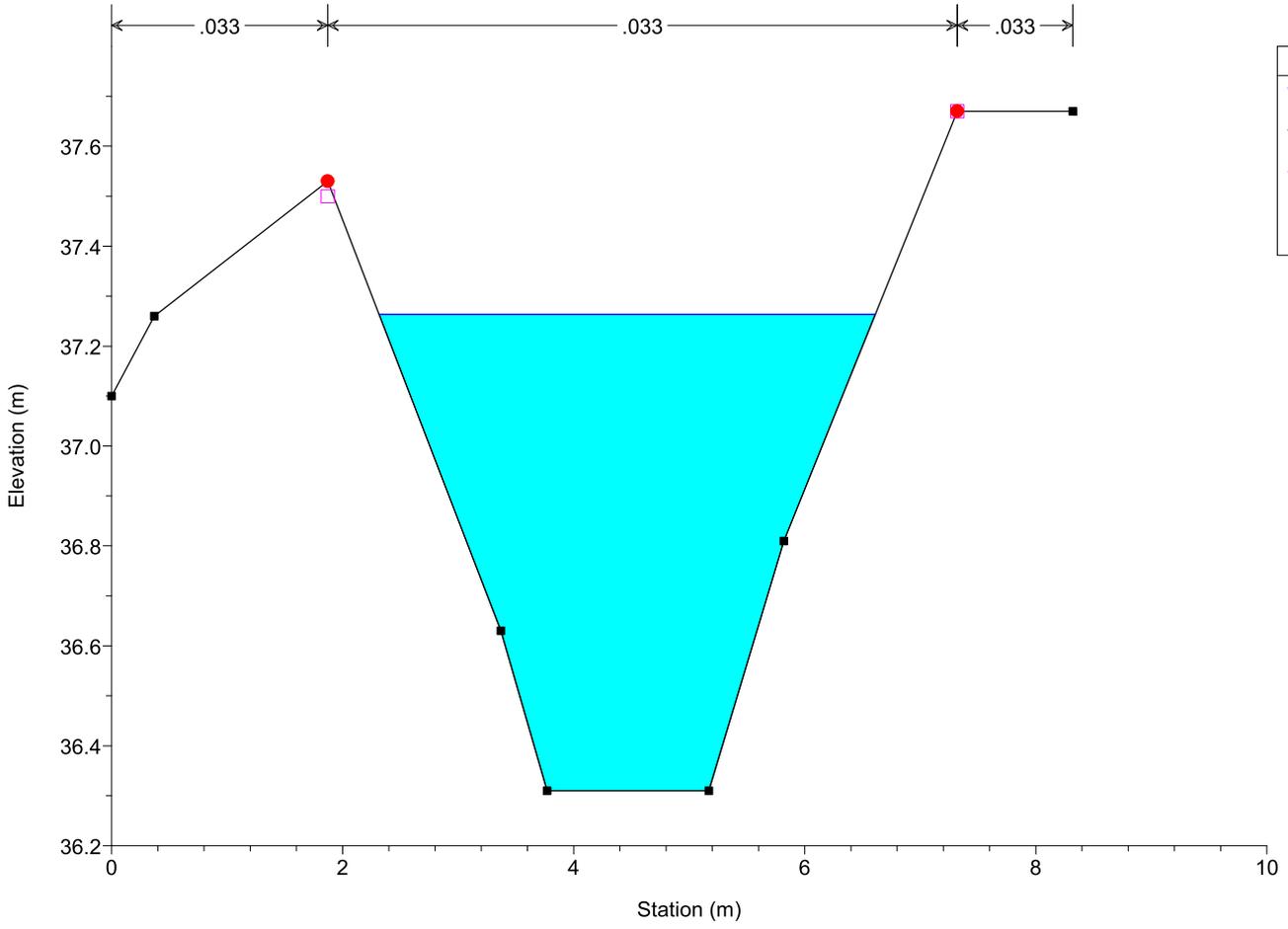


Legend	
—	WS PF 1
■	Ground
□	Levee
●	Bank Sta

17ED\_PR79 Fosso Via Roma Plan: Plan 03 12/22/2017

Geom: 171221 Stato attuale

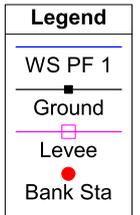
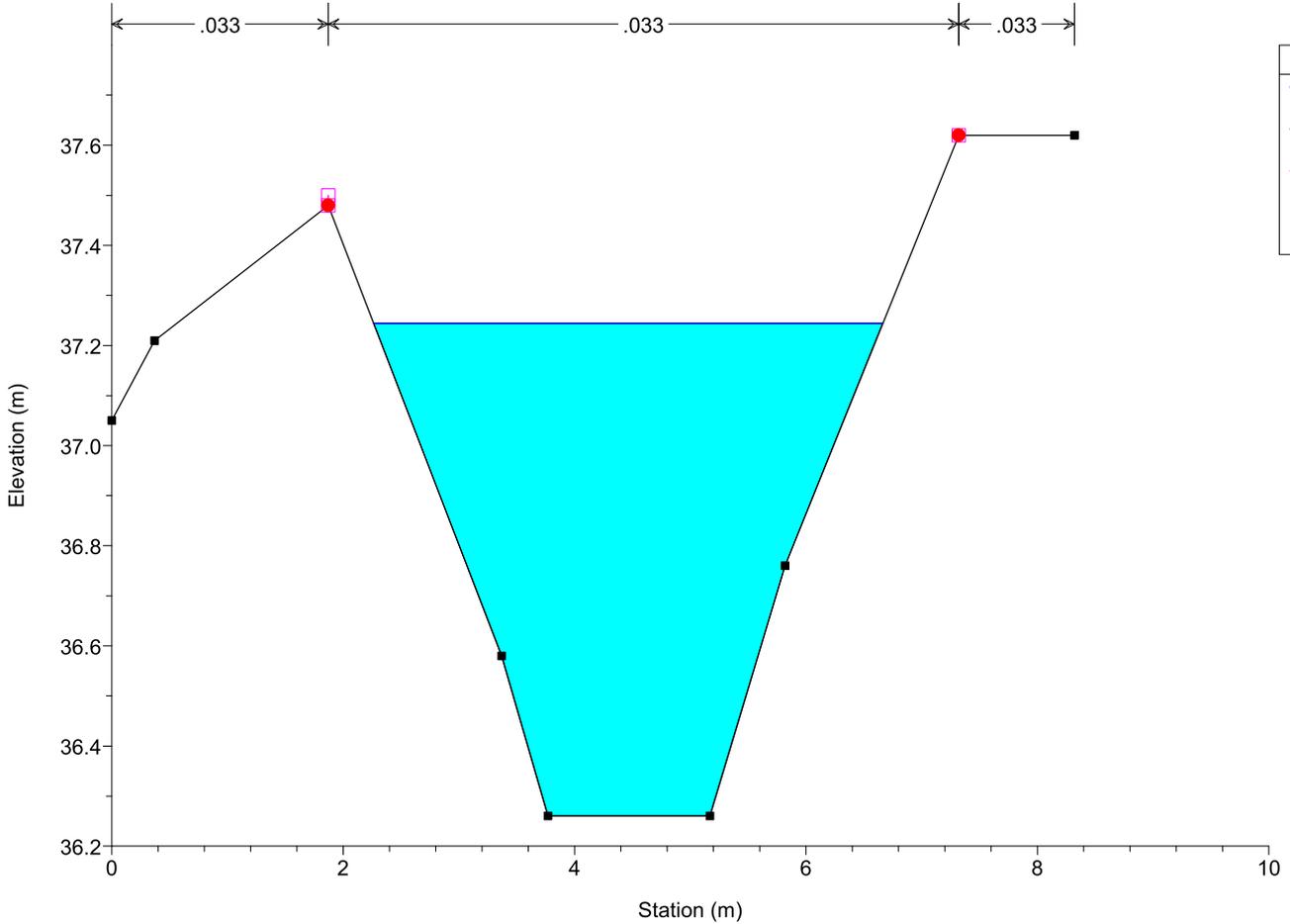
River = Fosso Via Roma Reach = Fosso RS = 80



17ED\_PR79 Fosso Via Roma Plan: Plan 03 12/22/2017

Geom: 171221 Stato attuale

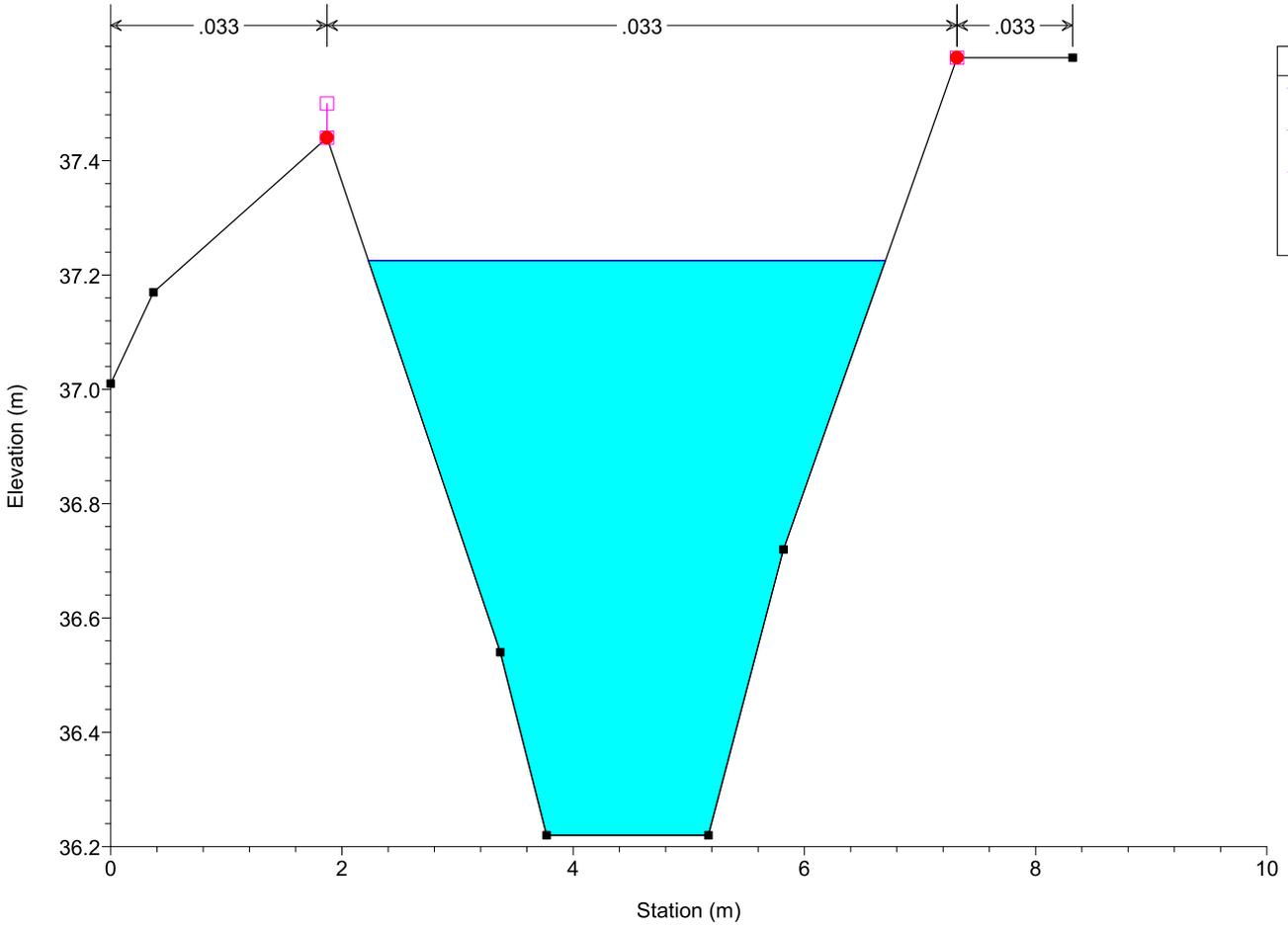
River = Fosso Via Roma Reach = Fosso RS = 70



17ED\_PR79 Fosso Via Roma Plan: Plan 03 12/22/2017

Geom: 171221 Stato attuale

River = Fosso Via Roma Reach = Fosso RS = 60

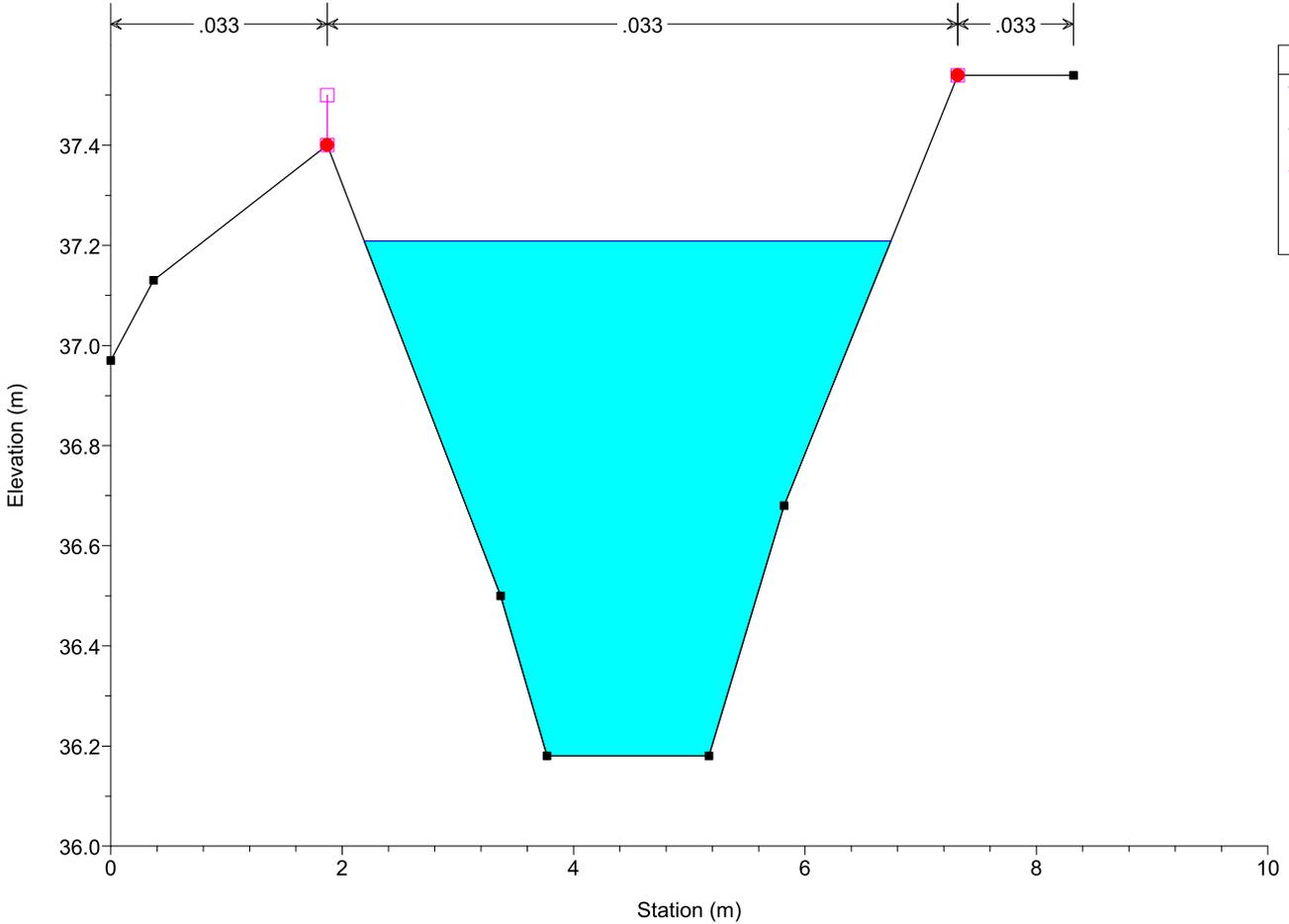


Legend	
—	WS PF 1
■	Ground
□	Levee
●	Bank Sta

17ED\_PR79 Fosso Via Roma Plan: Plan 03 12/22/2017

Geom: 171221 Stato attuale

River = Fosso Via Roma Reach = Fosso RS = 50

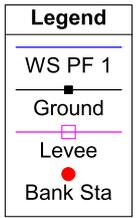
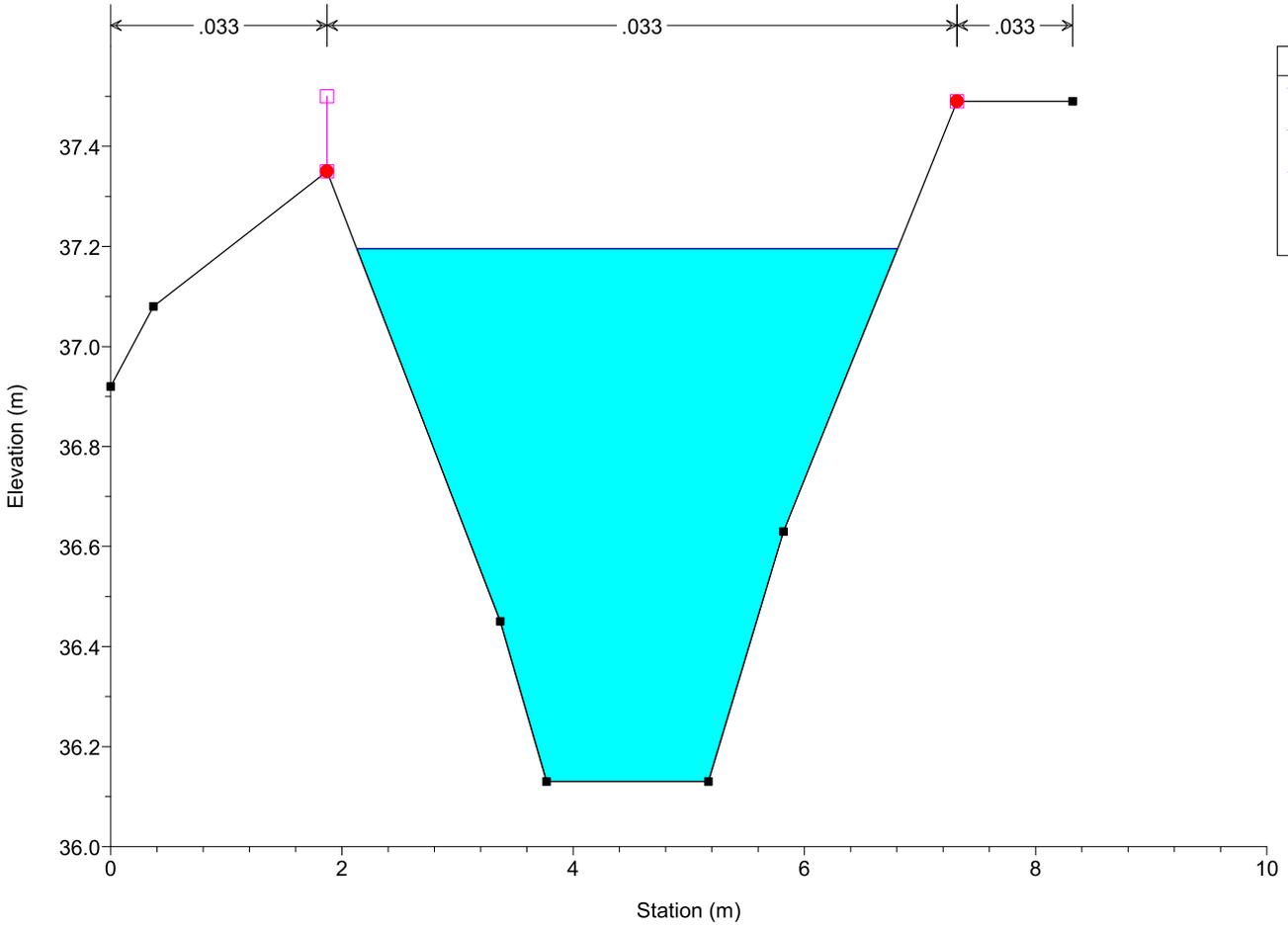


Legend	
—	WS PF 1
■	Ground
□	Levee
●	Bank Sta

17ED\_PR79 Fosso Via Roma Plan: Plan 03 12/22/2017

Geom: 171221 Stato attuale

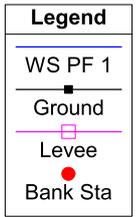
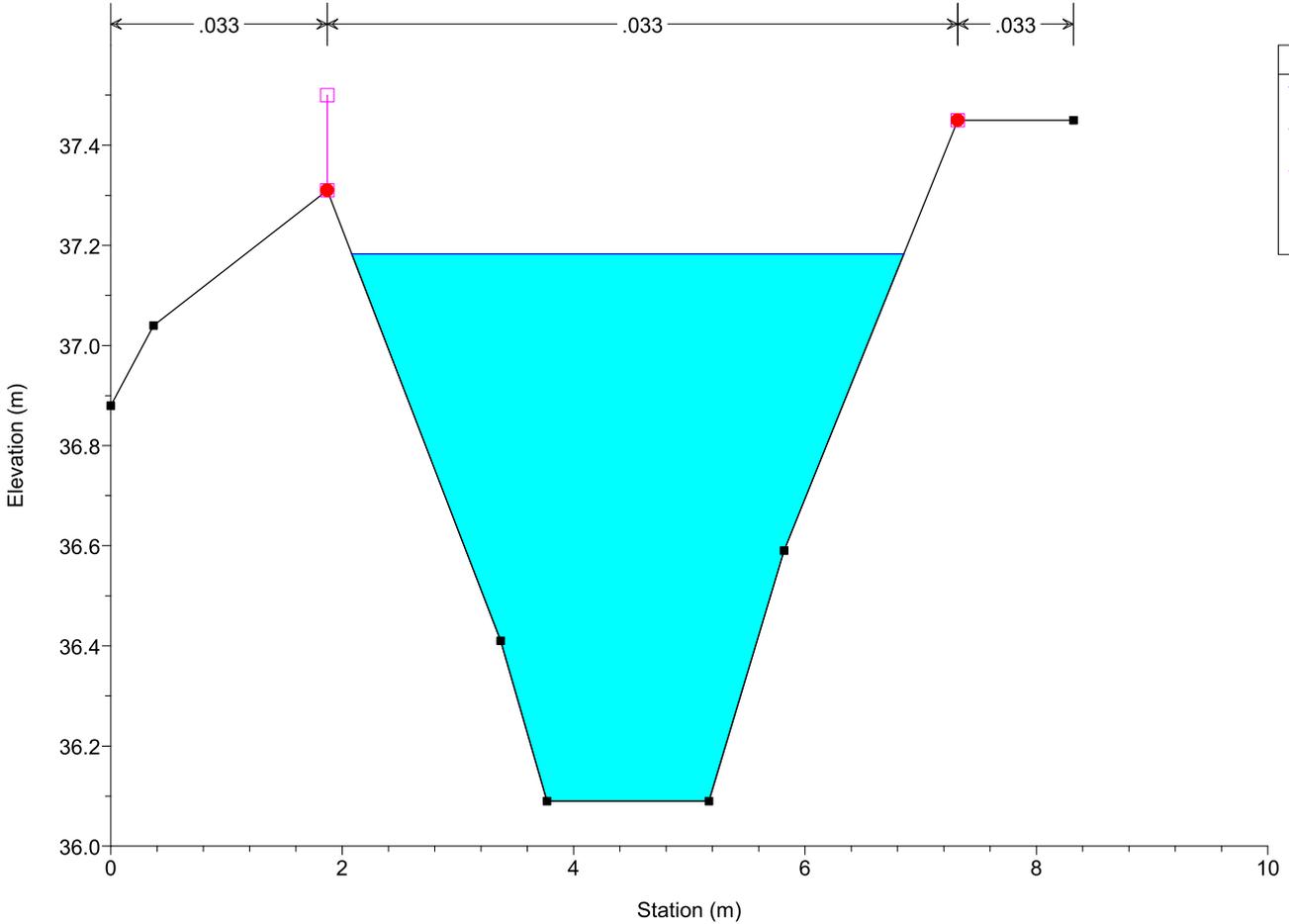
River = Fosso Via Roma Reach = Fosso RS = 40



17ED\_PR79 Fosso Via Roma Plan: Plan 03 12/22/2017

Geom: 171221 Stato attuale

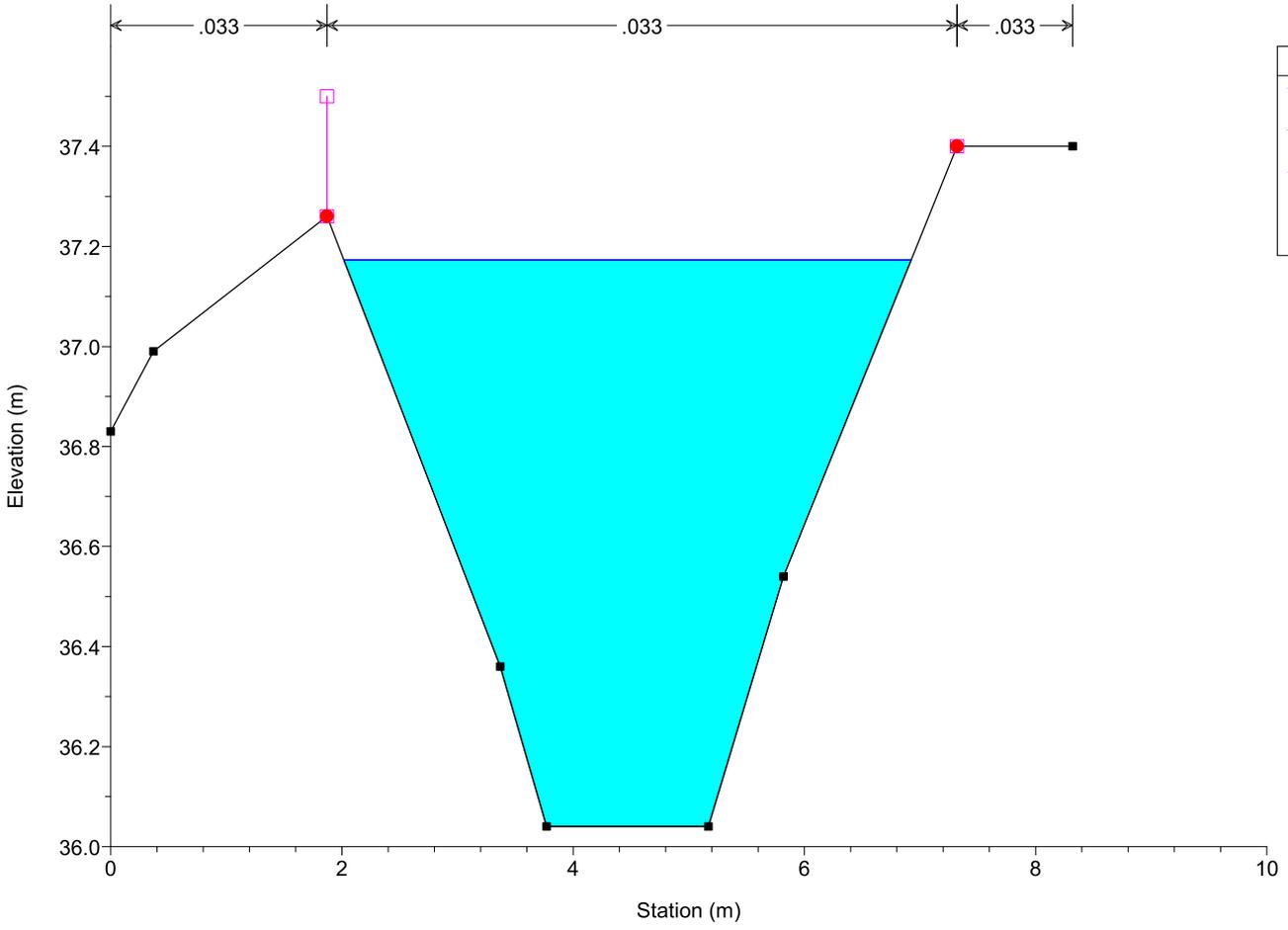
River = Fosso Via Roma Reach = Fosso RS = 30



17ED\_PR79 Fosso Via Roma Plan: Plan 03 12/22/2017

Geom: 171221 Stato attuale

River = Fosso Via Roma Reach = Fosso RS = 20

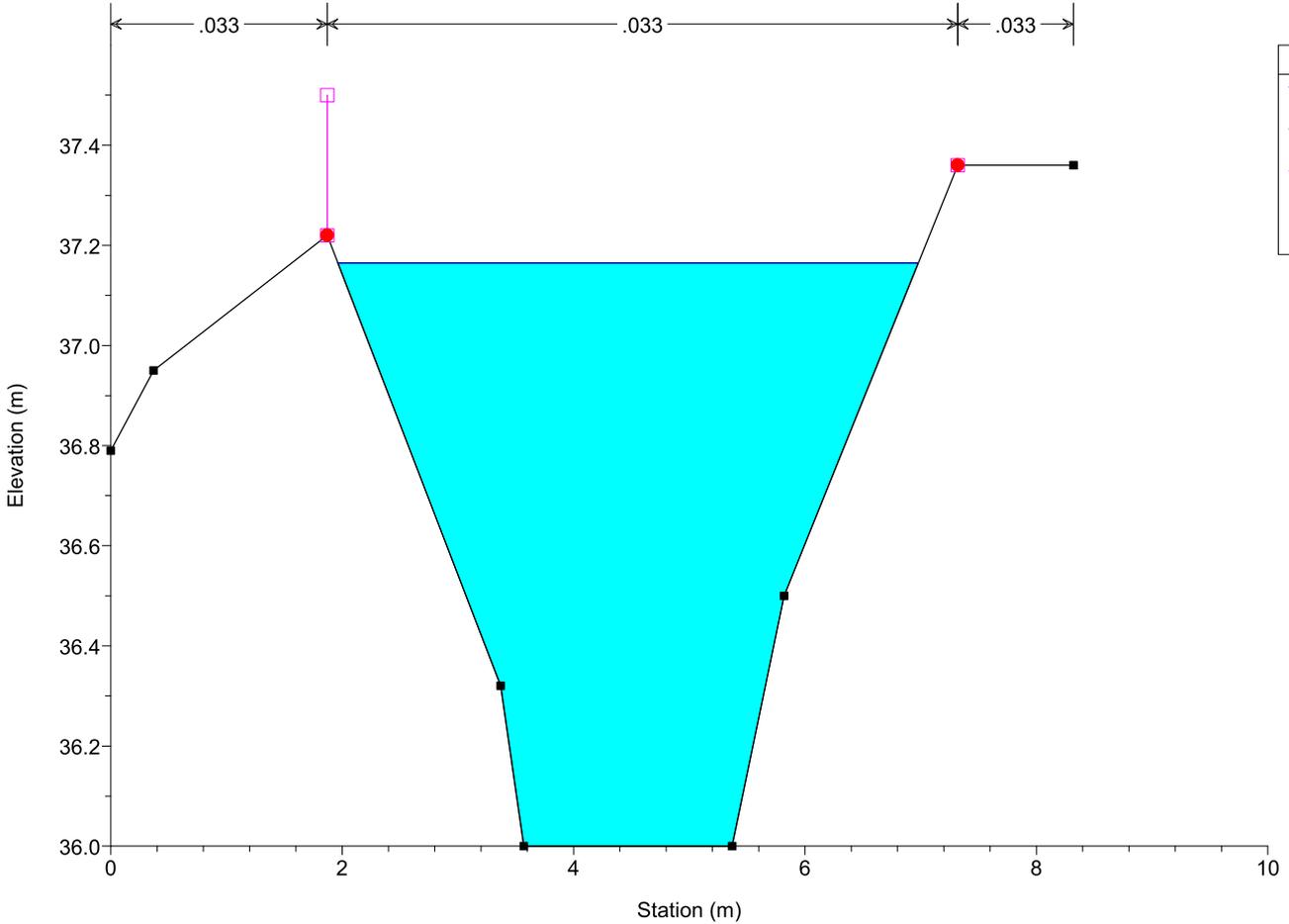


Legend	
—	WS PF 1
■	Ground
—□—	Levee
●	Bank Sta

17ED\_PR79 Fosso Via Roma Plan: Plan 03 12/22/2017

Geom: 171221 Stato attuale

River = Fosso Via Roma Reach = Fosso RS = 10

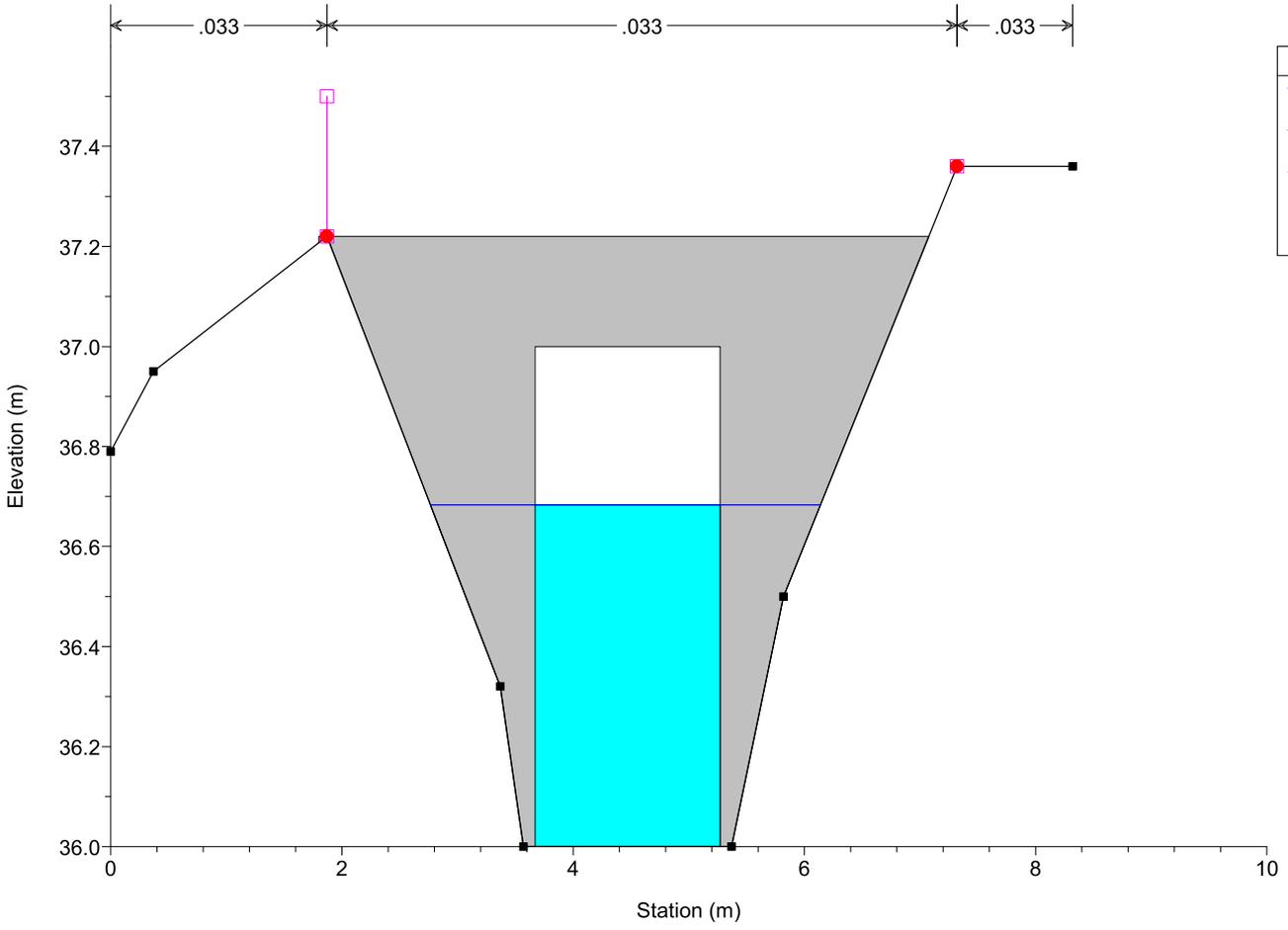


Legend	
—	WS PF 1
■	Ground
—□—	Levee
●	Bank Sta

17ED\_PR79 Fosso Via Roma Plan: Plan 03 12/22/2017

Geom: 171221 Stato attuale

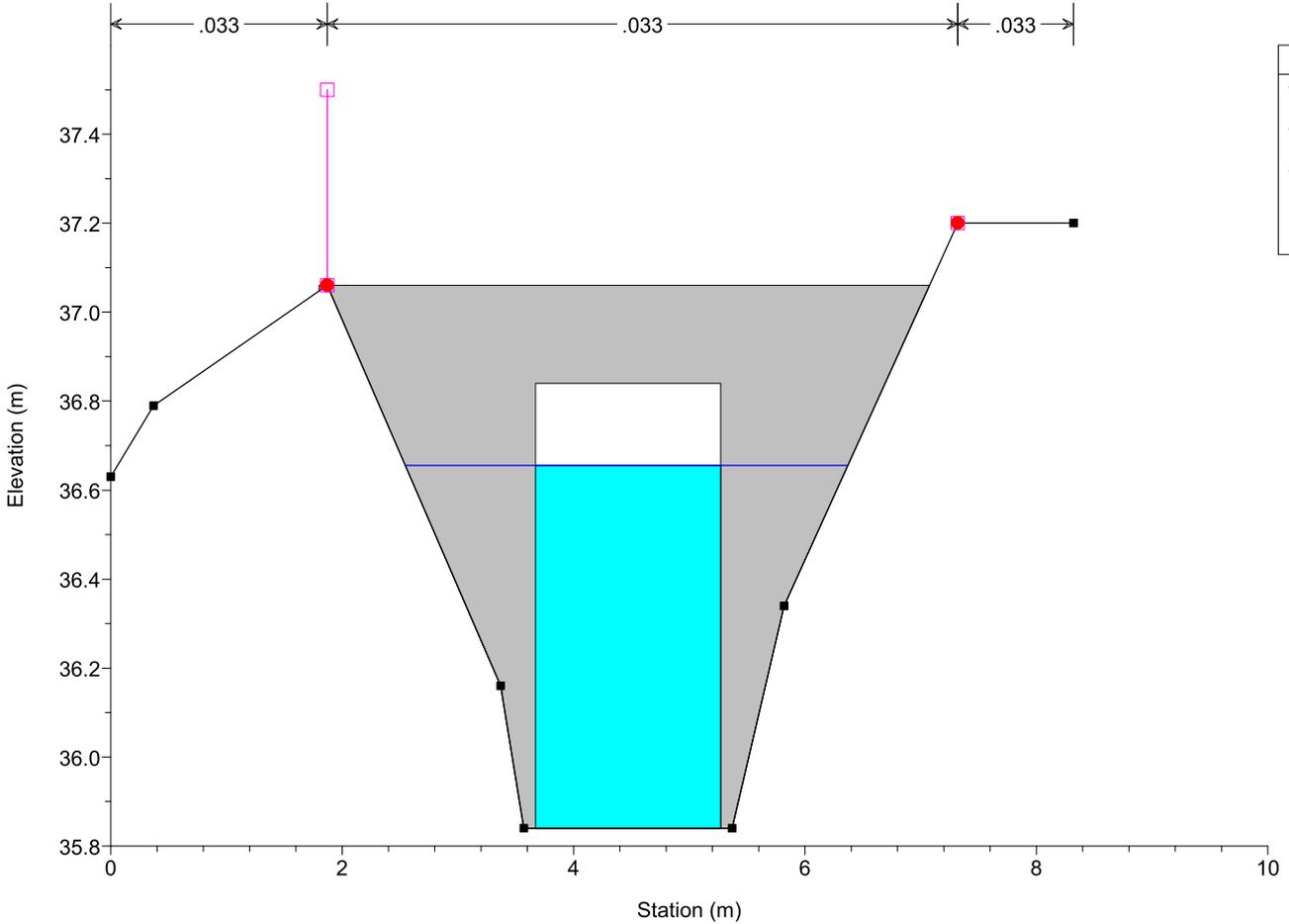
River = Fosso Via Roma Reach = Fosso RS = 5 Culv Scatolare in calcestruzzo

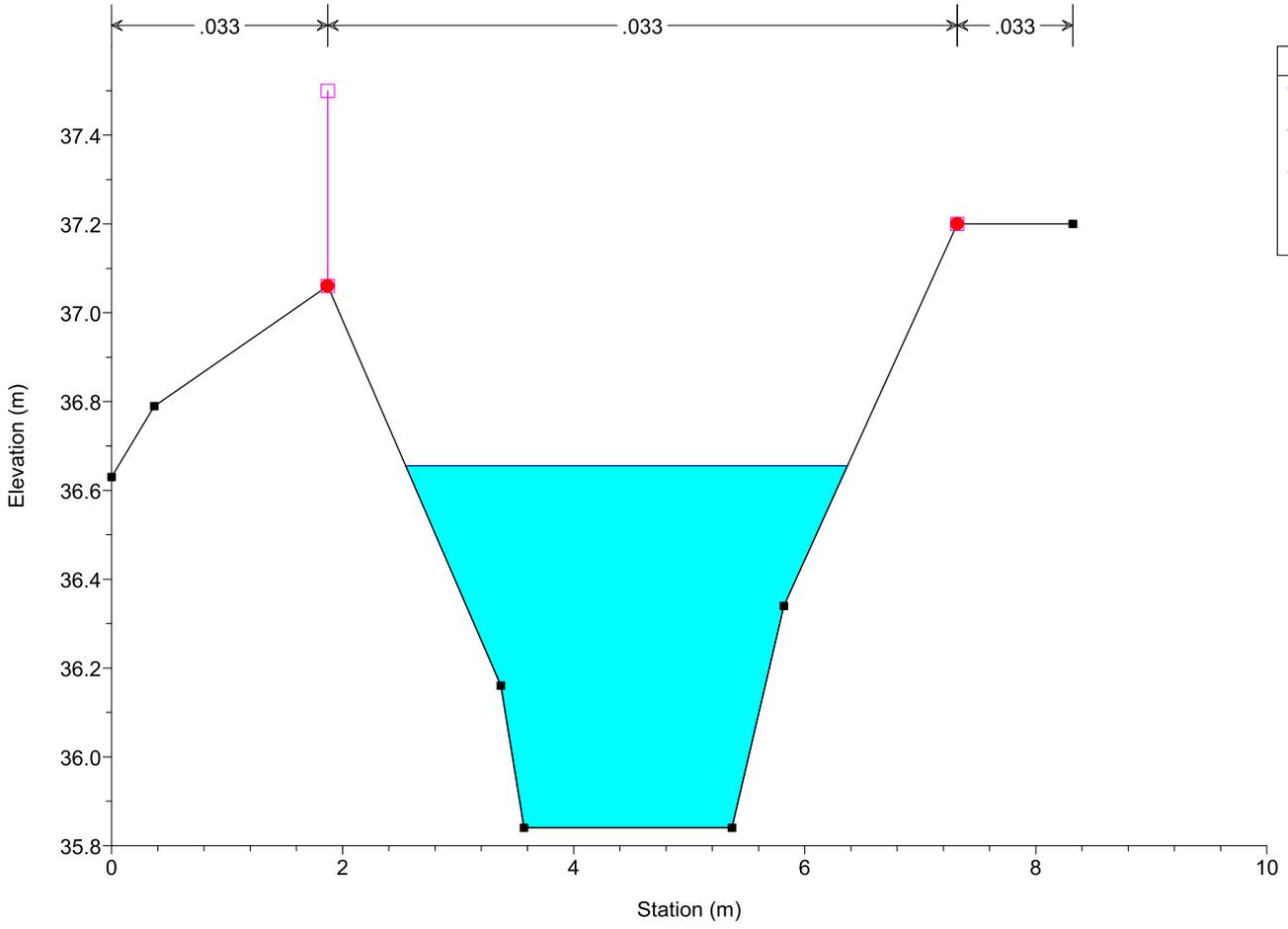


17ED\_PR79 Fosso Via Roma Plan: Plan 03 12/22/2017

Geom: 171221 Stato attuale

River = Fosso Via Roma Reach = Fosso RS = 5 Culv Scatolare in calcestruzzo





Legend	
WS PF 1	—
Ground	■
Levee	□
Bank Sta	●

---

## 5.7 Allegato 04 – Stato di progetto. Estratti della modellazione idraulica con HEC RAS

*Legenda dei profili longitudinali:*

*EG PF# 1 = linea dell'energia totale della corrente.*

*WS PF#1 = linea del profilo liquido della corrente.*

*Crit. PF#1 = linea dell'altezza critica della corrente.*

*Ground = profilo di fondo del corso d'acqua.*

*LOB = linea del profilo della sommità dell'argine o della sponda sinistra.*

*ROB = linea del profilo della sommità dell'argine o della sponda destra.*

*Legenda delle sezioni trasversali:*

*EG PF# 1 = linea dell'energia totale della corrente.*

*WS PF#1 = linea del profilo liquido della corrente.*

*Ground = profilo di fondo del corso d'acqua.*

*Bank Sta = sommità degli argini o delle sponde della sezione.*

*Legenda delle tabelle:*

*Reach = corso d'acqua in esame (Sana nel nostro caso).*

*River Sta = sezione trasversale.*

*Q Total = portata del corso d'acqua nella sezione.*

*Min ch elev = elevazione minima del fondo.*

*W. S. Elev = elevazione del pelo liquido della corrente.*

*Crit. W. S. = elevazione dell'altezza critica.*

*E. G. Elev. = elevazione della linea dell'energia totale.*

*E. G. Slope = pendenza della linea dell'energia totale.*

*Vel Chnl = velocità dell'acqua nel canale.*

*Flow area = sezione liquida della corrente.*

*Top Width = larghezza in bocca della sezione*

*Froude # Chl = numero di Froude nella sezione*

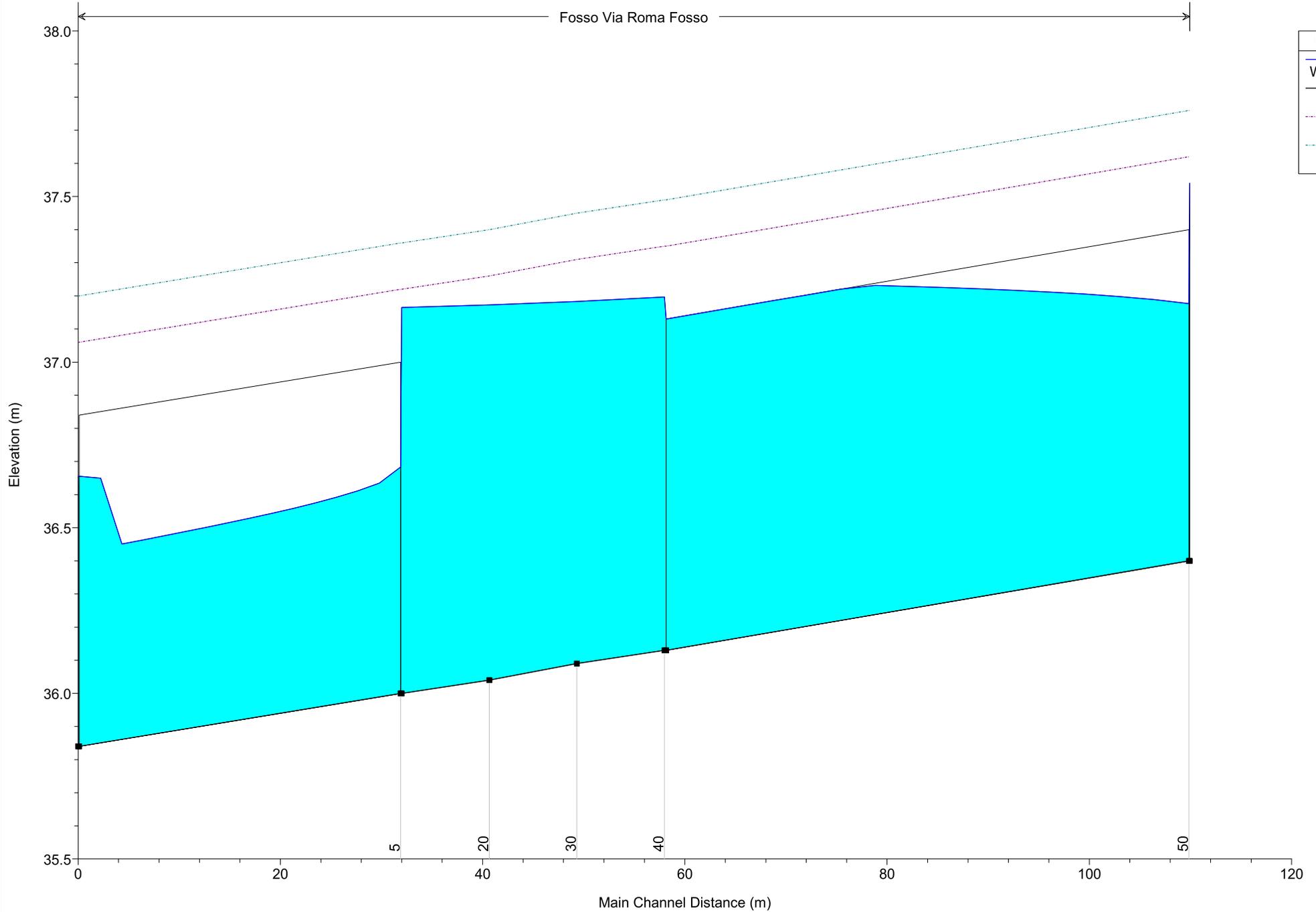
*L. Freeboard = franco di sicurezza in sponda sinistra*

*R. Freeboard = franco di sicurezza in sponda destra*

HEC-RAS Plan: Plan 02 River: Fosso Via Roma Reach: Fosso Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Fosso	100	PF 1	2.83	36.40	37.54	36.99	37.57	0.001290	0.79	3.57	4.93	0.30
Fosso	50		Culvert									
Fosso	40	PF 1	2.83	36.13	37.20	36.71	37.24	0.001706	0.88	3.21	4.68	0.34
Fosso	30	PF 1	2.83	36.09	37.18	36.70	37.22	0.001628	0.87	3.25	4.77	0.34
Fosso	20	PF 1	2.83	36.04	37.17	36.66	37.21	0.001395	0.82	3.45	4.91	0.31
Fosso	10	PF 1	2.83	36.00	37.16	36.58	37.19	0.001180	0.77	3.69	5.02	0.29
Fosso	5		Culvert									
Fosso	2	PF 1	2.83	35.84	36.66	36.42	36.74	0.005008	1.32	2.15	3.83	0.56

Fosso Via Roma Fosso



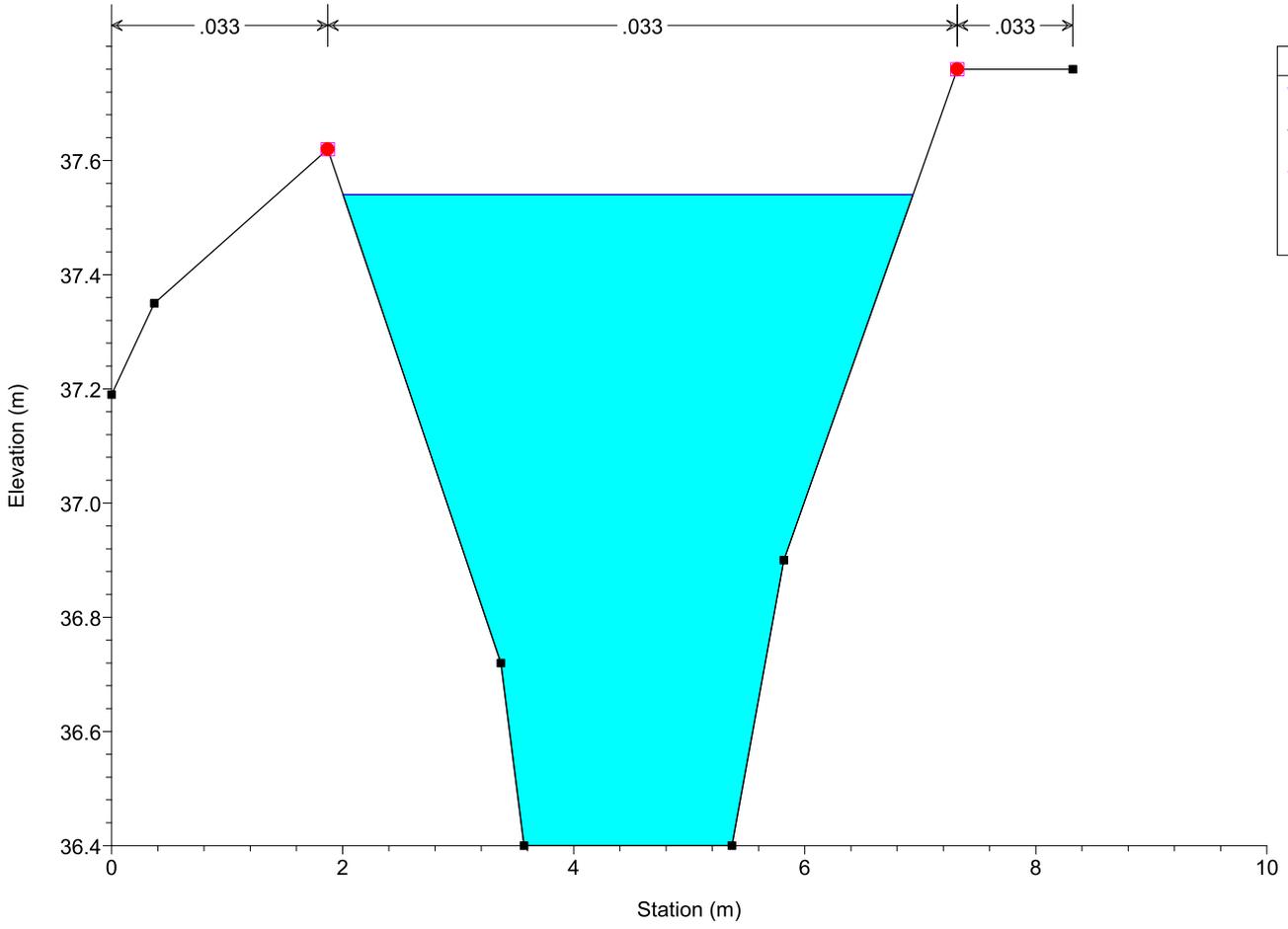
**Legend**

- WS PF 1
- Ground
- LOB
- ROB

17ED\_PR79 Fosso Via Roma Plan: Plan 04 12/22/2017

Geom: 171222 Stato di progetto

River = Fosso Via Roma Reach = Fosso RS = 100

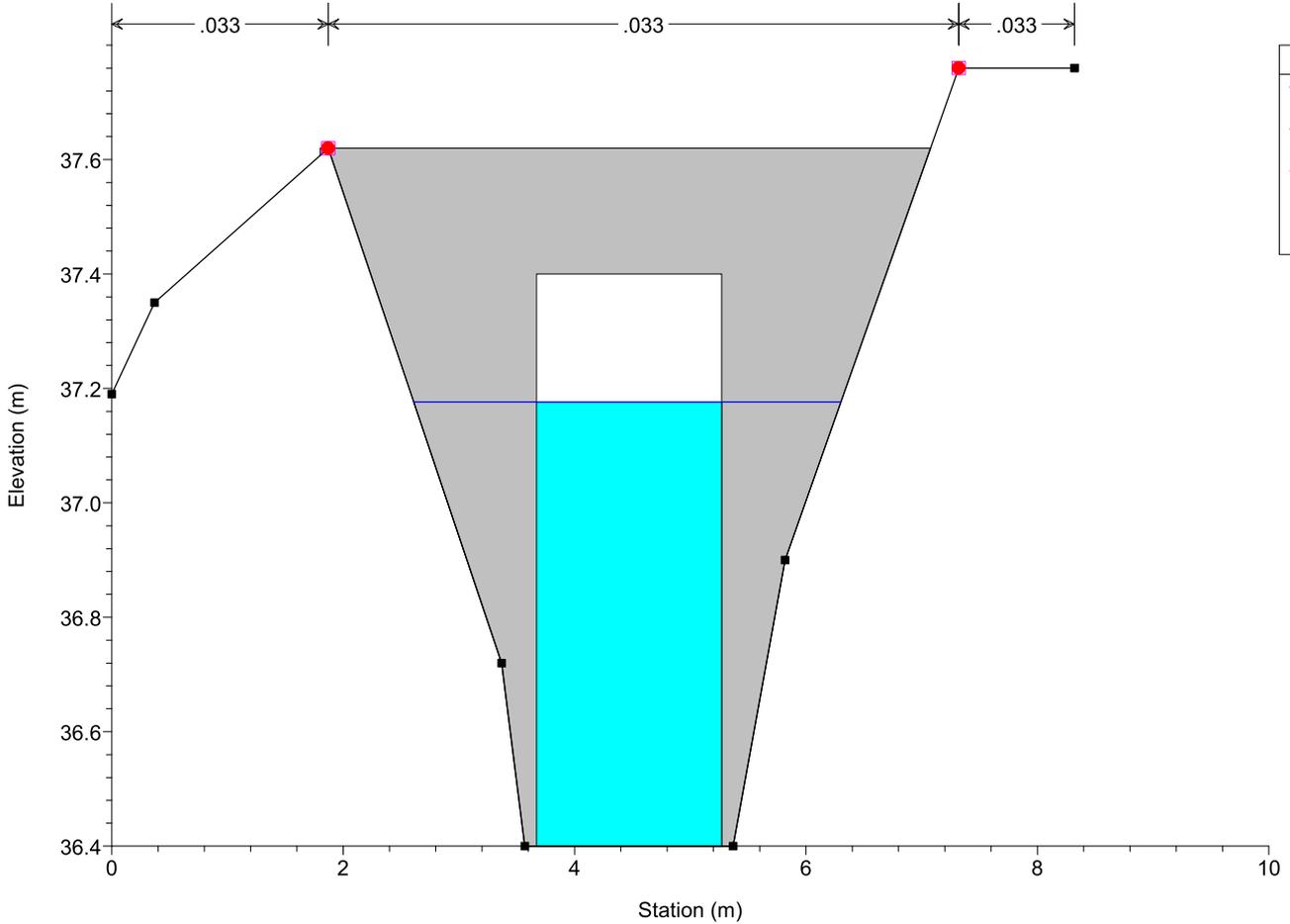


Legend	
—	WS PF 1
■	Ground
□	Levee
●	Bank Sta

17ED\_PR79 Fosso Via Roma Plan: Plan 04 12/22/2017

Geom: 171222 Stato di progetto

River = Fosso Via Roma Reach = Fosso RS = 50 Culv

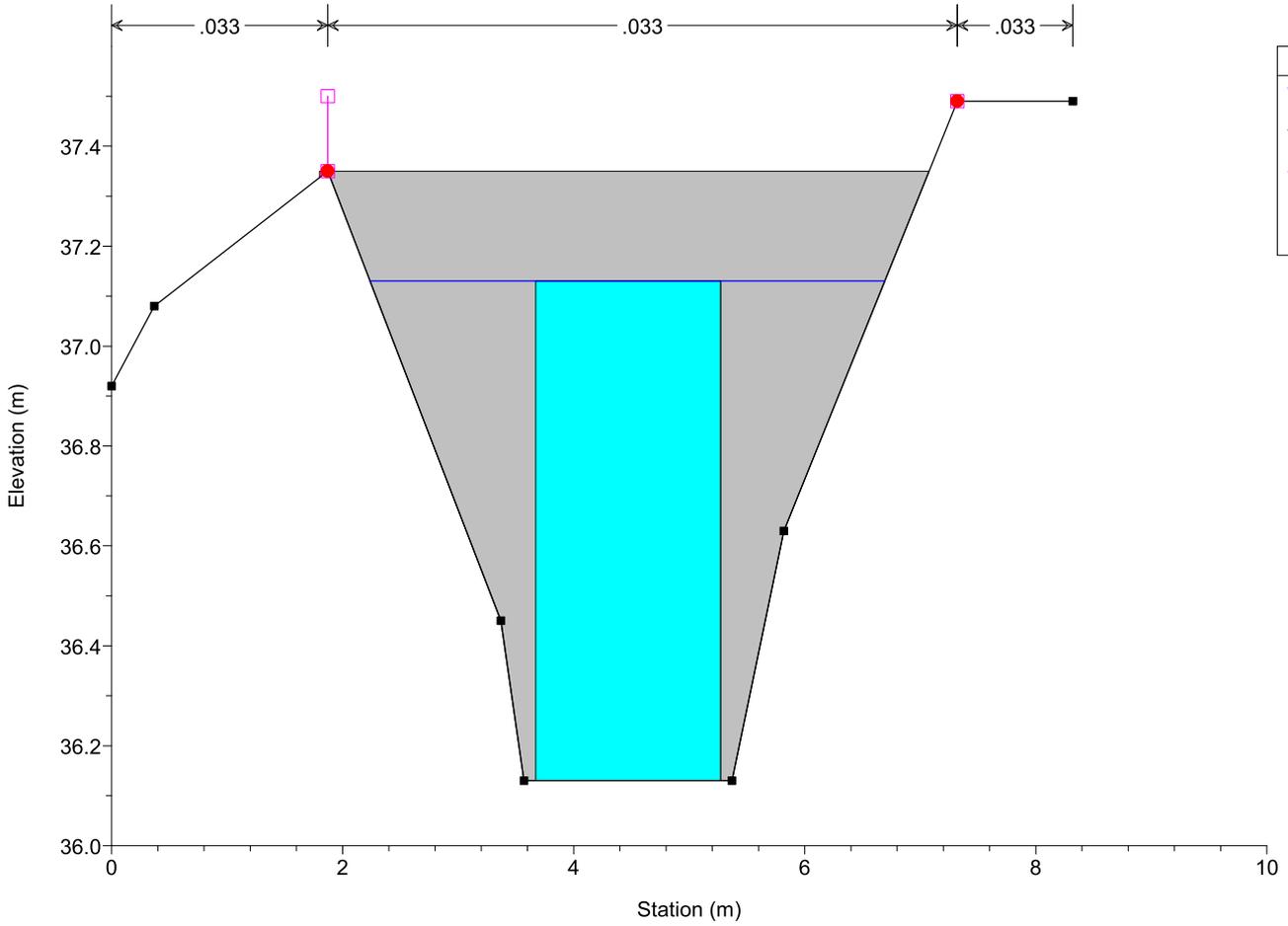


Legend	
—	WS PF 1
■	Ground
□	Levee
●	Bank Sta

17ED\_PR79 Fosso Via Roma Plan: Plan 04 12/22/2017

Geom: 171222 Stato di progetto

River = Fosso Via Roma Reach = Fosso RS = 50 Culv

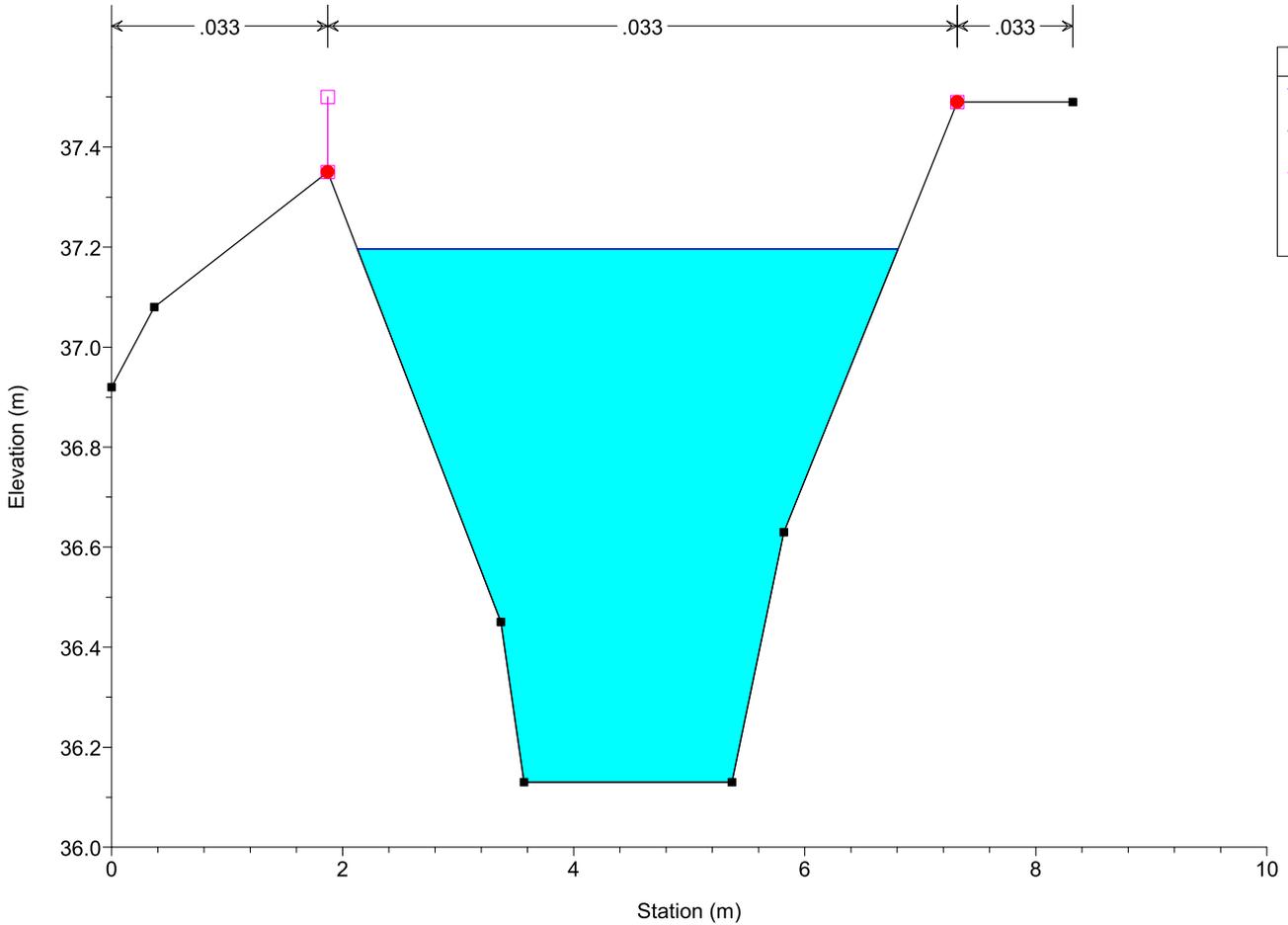


Legend	
—	WS PF 1
■	Ground
□	Levee
●	Bank Sta

17ED\_PR79 Fosso Via Roma Plan: Plan 04 12/22/2017

Geom: 171222 Stato di progetto

River = Fosso Via Roma Reach = Fosso RS = 40

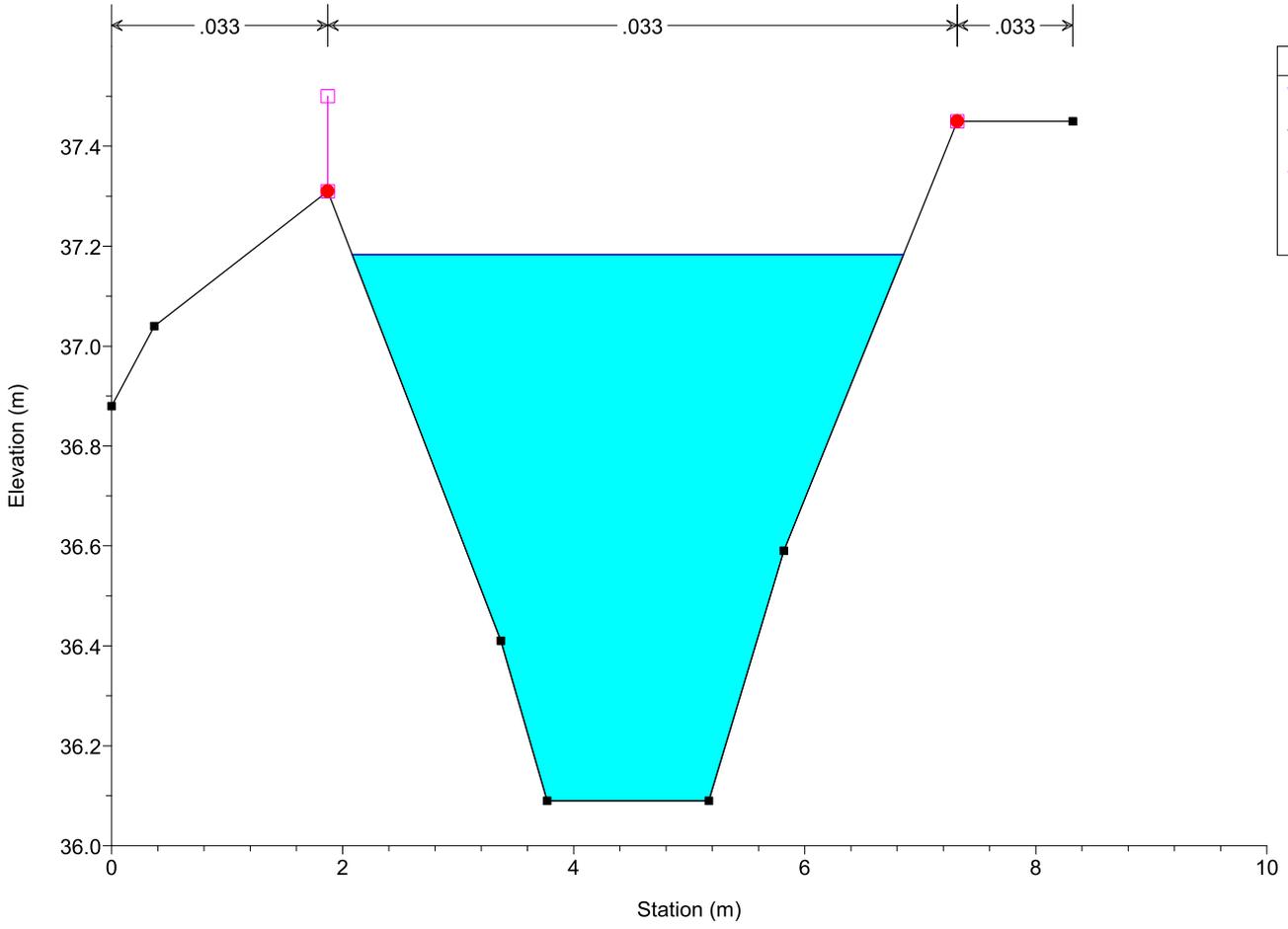


Legend	
—	WS PF 1
■	Ground
□	Levee
●	Bank Sta

17ED\_PR79 Fosso Via Roma Plan: Plan 04 12/22/2017

Geom: 171222 Stato di progetto

River = Fosso Via Roma Reach = Fosso RS = 30

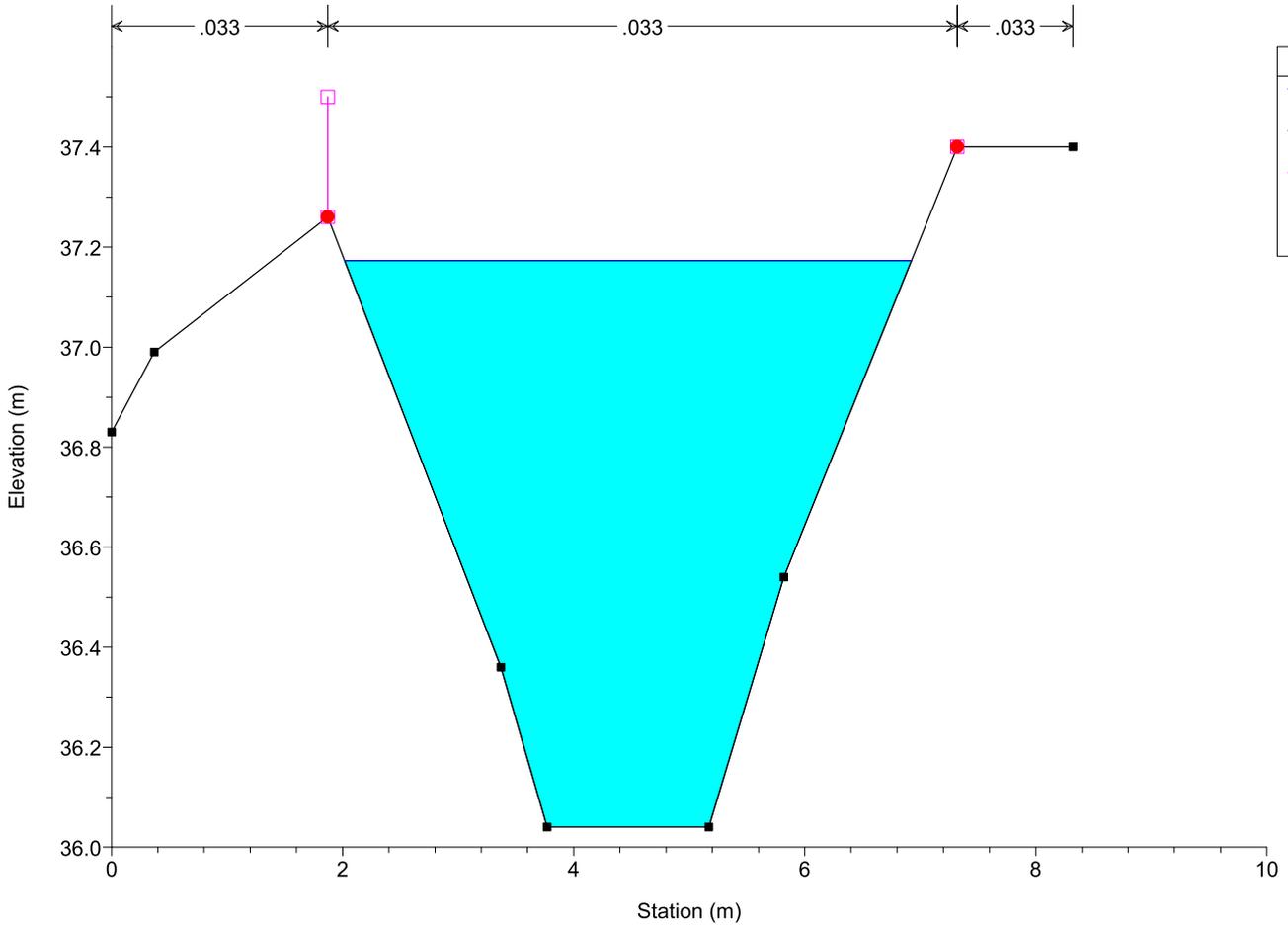


Legend	
—	WS PF 1
■	Ground
□	Levee
●	Bank Sta

17ED\_PR79 Fosso Via Roma Plan: Plan 04 12/22/2017

Geom: 171222 Stato di progetto

River = Fosso Via Roma Reach = Fosso RS = 20

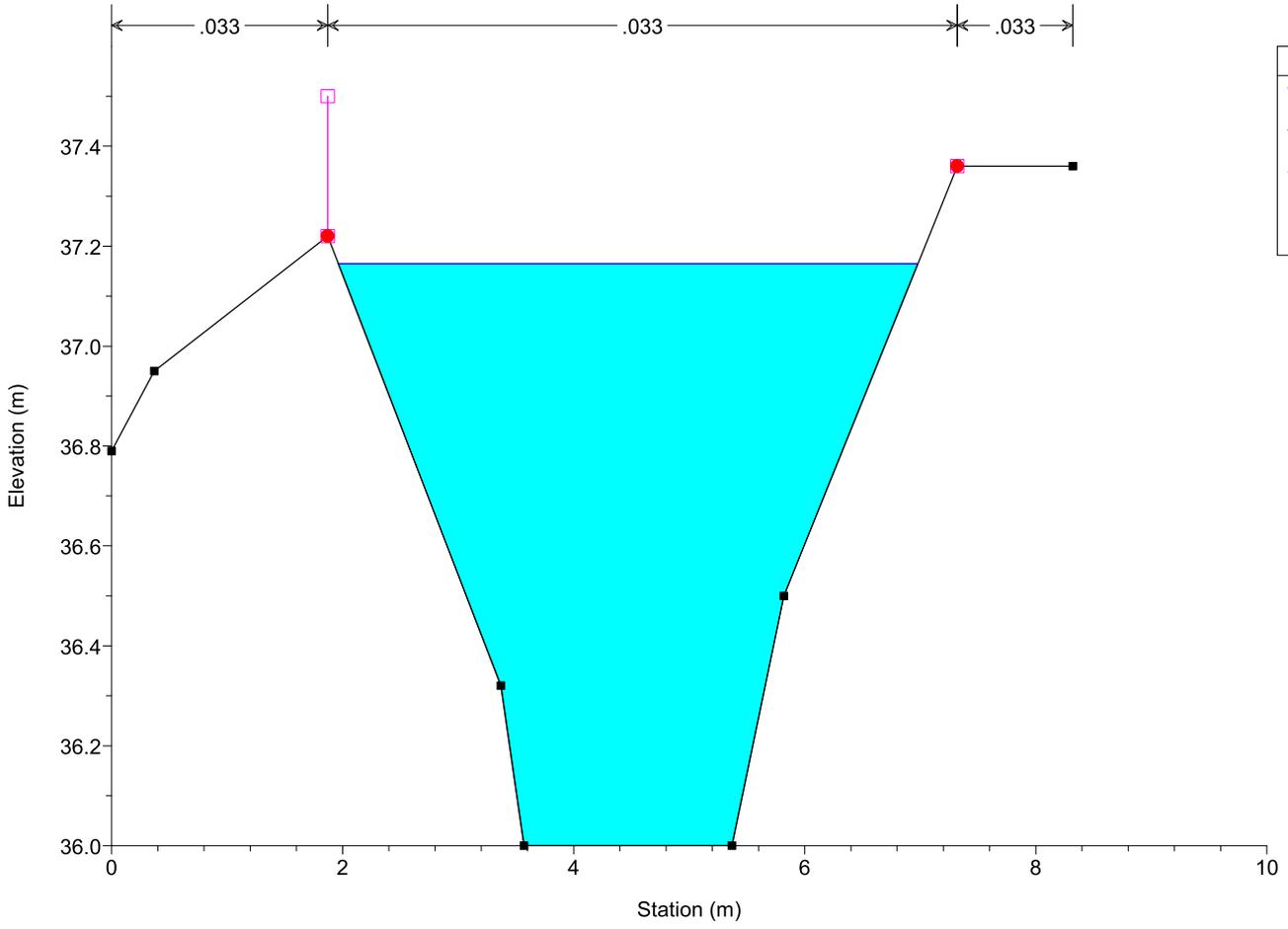


Legend	
—	WS PF 1
■	Ground
□	Levee
●	Bank Sta

17ED\_PR79 Fosso Via Roma Plan: Plan 04 12/22/2017

Geom: 171222 Stato di progetto

River = Fosso Via Roma Reach = Fosso RS = 10

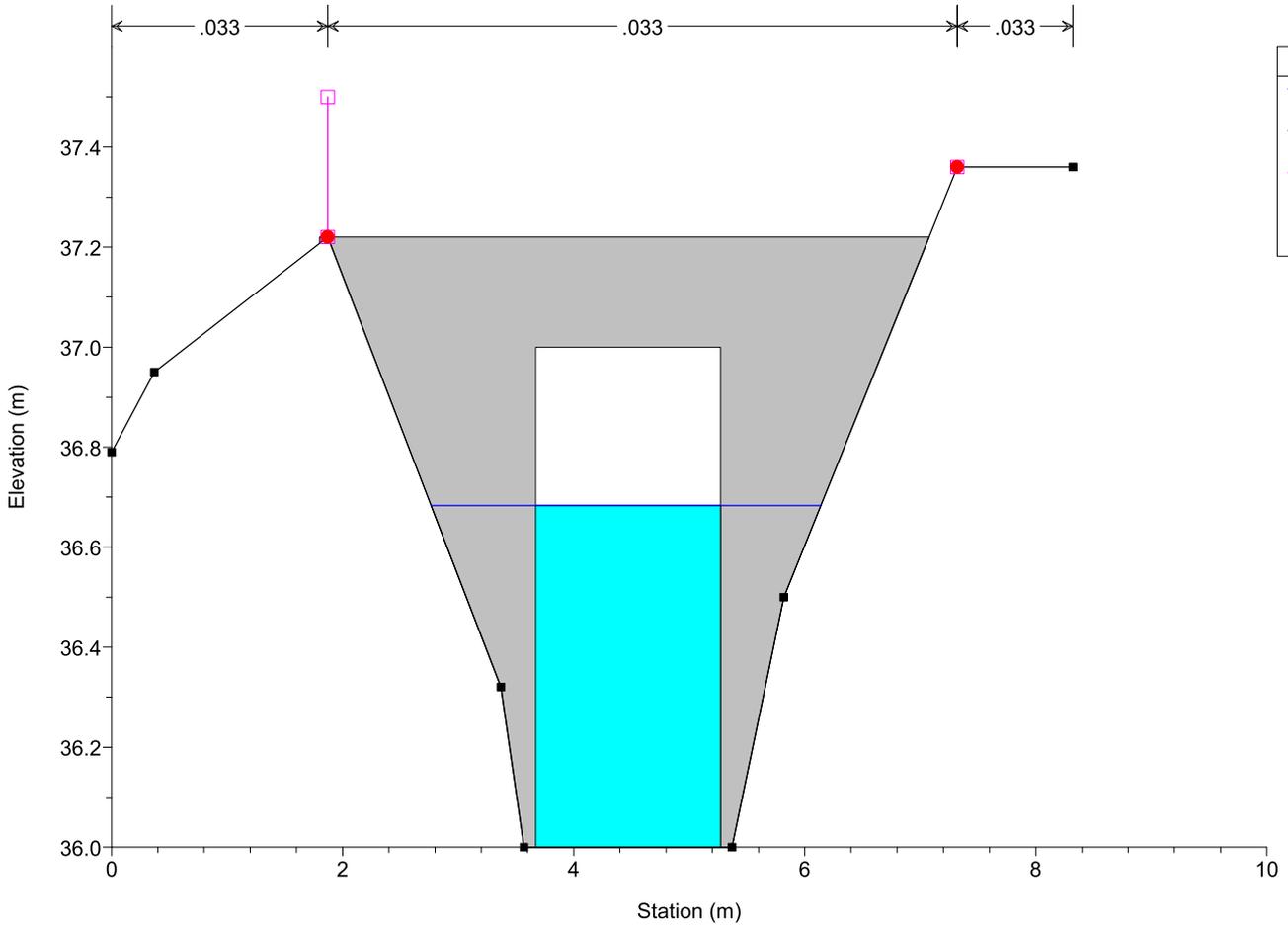


Legend	
—	WS PF 1
■	Ground
□	Levee
●	Bank Sta

17ED\_PR79 Fosso Via Roma Plan: Plan 04 12/22/2017

Geom: 171222 Stato di progetto

River = Fosso Via Roma Reach = Fosso RS = 5 Culv Scatolare in calcestruzzo

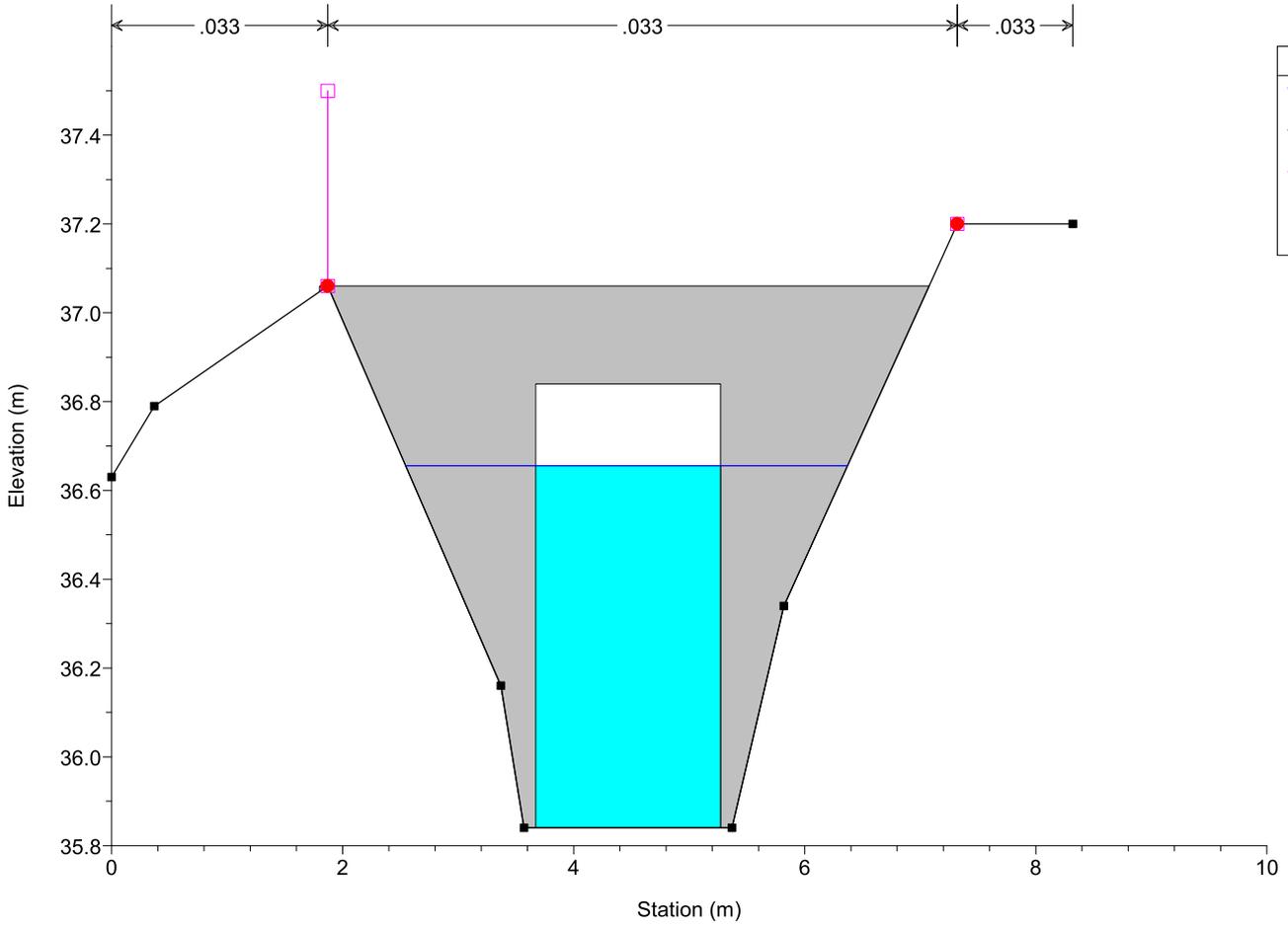


Legend	
—	WS PF 1
■	Ground
□	Levee
●	Bank Sta

17ED\_PR79 Fosso Via Roma Plan: Plan 04 12/22/2017

Geom: 171222 Stato di progetto

River = Fosso Via Roma Reach = Fosso RS = 5 Culv Scatolare in calcestruzzo

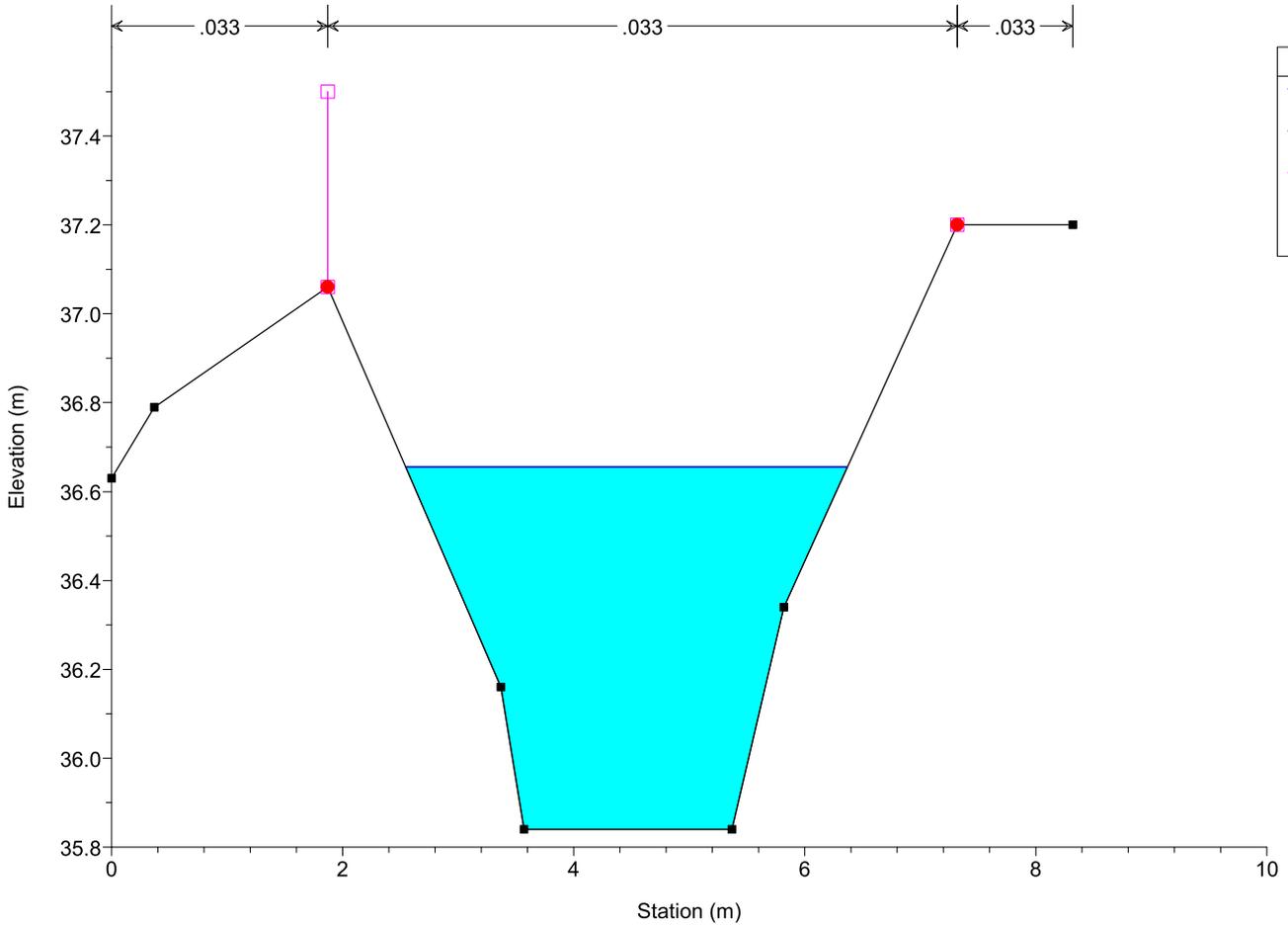


Legend	
—	WS PF 1
■	Ground
□	Levee
●	Bank Sta

17ED\_PR79 Fosso Via Roma Plan: Plan 04 12/22/2017

Geom: 171222 Stato di progetto

River = Fosso Via Roma Reach = Fosso RS = 2



Legend	
—	WS PF 1
■	Ground
□	Levee
●	Bank Sta